

EVALUACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES MEDIANTE LA
IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA
AGROFORESTAL

ANA YULIETH DIAZ OROZCO

ASESOR:
JAIME MACHADO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA –UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

VALLEDUPAR

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

DIRECTOR

JURADO

JURADO

Valledupar, Junio de 2017

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres, quienes me han dado todo su amor y entrega.

A Harol, Jasser y la Flaca, por estar siempre para mí y enseñarme cuan fuerte es la unión; a mis sobrinos Alana y Dick, por ser el lado joven de mi vida. A ti que aunque no estés entre nosotros te amamos enormemente y te extrañamos sin medida.

Al Ing. Alex Vera, mi esposo...mi amor!!, por su compañía y apoyo incondicional.

Ana Julieth Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por concederme su gracia y mostrarme el camino, por no abandonarme cuando mis fuerzas cedieron.

Al ingeniero Jaime Machado por su aporte trascendental en la construcción de este documento.

Ana Julieth Díaz

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	.....
2. JUSTIFICACIÓN	.....
3. PROBLEMÁTICA	.....
4. OBJETIVOS	.....
4.1 Objetivo General	.....
4.2 Objetivo Específicos	.....
5. MARCO TEORICO	.....
5.1 Marco Histórico	.....
5.1.1 <i>Origen de los Sistemas de Información Geográfico</i>	.....
5.1.2 <i>Origen de los Sistemas Agroforestales</i>	.....
5.2 Marco Conceptual	.....
5.2.1 <i>Sistemas Agroforestales</i>	.....
5.2.2 <i>Componentes de los SAF</i>	.....
5.2.3 <i>Clasificación de los Sistemas Agroforestales</i>	.....
5.2.4 <i>Sistemas Silvopastoriles o Sistemas Agroforestales Pecuarios</i>	.....
5.2.5 <i>Sistemas Agrosilviculturales</i>	.....
5.2.6 <i>Sistemas Agrosilvopastoriles</i>	.....
5.3 Ventajas de los Sistemas Silvopastoriles	.....
5.3.1 <i>Beneficios de los Sistemas Silvopastoriles</i>	.....
5.3.2 <i>Desventajas de los Sistemas Agroforestales</i>	.....
5.4 Limitaciones de los Sistemas Agroforestales	.....

5.5	Indicadores de calidad y fertilidad del suelo.....
5.6	Efectos positivos de la incorporación de silvopastoriles sobre el suelo.....
5.7	Sistemas de Información Geográfica.....
5.7.1	Objetivos de un SIG.....
5.7.2	Componentes de un SIG.....
5.7.3	Atributos especiales de los SIG.....
5.7.4	Utilización de un Sistemas de Información Geográfica.....
5.7.4.1	<i>Almacenamiento</i>
5.7.4.2	<i>Visualización</i>
5.7.4.3	<i>Consultas</i>
5.7.4.4	<i>Análisis</i>
5.7.4.5	<i>Modelización</i>
5.7.5	Aplicaciones de los SIG.....
5.7.5.1	<i>Científicas</i>
5.7.5.2	<i>Gestión</i>
5.7.5.3	<i>Empresarial</i>
5.7.6	Funcionamiento de un SIG.....
5.7.7	<i>Utilidades de un SIG en el Sector Agropecuario</i>
5.8	Georreferenciación.....
5.8.1	<i>Sistema de Coordenadas</i>
5.8.2	<i>Software para Georreferenciar</i>
6.	Marco Geográfico.....
6.1	<i>Departamento de Caldas</i>

6.2	<i>Departamento del Cesar</i>	
7.	IDENTIFICACIÓN DE PARAMETROS DE CALIDAD DE SUELO DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GEOREFERENCIACION E INTERPOLACIÓN) EN COMPARACION CON SISTEMAS CONVENCIONALES	
7.1	<i>Metodología</i>	
7.1.1	<i>Selección de fincas y Georreferenciación de lotes</i>	
7.1.2	<i>Determinación de propiedades químicas</i>	
7.1.3	<i>Manejo de la información</i>	
7.1.4	<i>Análisis de la información</i>	
7.1.5	<i>Creación de mapas de fertilidad y propiedades físicas</i>	
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
8.1	<i>Finca El Pañuelo</i>	
8.2	<i>Finca Sierra Morena</i>	
9.	CONCLUSIONES	
10.	DESCRIPCION DEL USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG PARA EL ANALISIS ESPACIAL EN EL MUNICIPIO DE AGUSTIN CODAZZI BASADOS EN LA INFORMACION OBTENDIDA EN EL ESTUDIO DEL DPTO DE CALDAS	
11.	RECOMENDACIONES	
12.	REFERENCIAS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto de un mapa generado con SYMAP.....	
Figura 2. Representación tridimensional creada con SYMVU.....	
Figura 3. Esquema temporal de la evolución de los SIG.....	
Figura 4. Esquema de un sistema Taungya.....	
Figura 5. Clasificación de los sistemas agroforestales.....	
Figura 6. Georreferenciación.....	
Figura 7. Paralelos y meridianos.....	
Figura 8. Ubicación geográfica Departamento de Caldas.....	
Figura 9. Departamento del Cesar.....	
Figura 10. Ubicación de lotes muestreados en Finca El Pañuelo.....	
Figura 11. Ubicación de los lotes muestreados Finca Sierra Morena.....	
Figura 12. Lotes muestreados Finca el Pañuelo.....	
Figura 13. Mapas de potasio, Calcio, Magnesio y Fosforo.....	
Figura 14. Mapa de pH, Aluminio, Densidad aparente y porosidad Total.....	
Figura 15. Lotes muestreados de la Finca Sierra Morena.....	
Figura 16. Mapas de potasio, calcio, magnesio, fosforo, pH y aluminio.....	
Figura 17. Mapa de densidad aparente y porosidad total del suelo.....	
Figura 18. Localización municipio de Agustín Codazzi, Cesar.....	
Figura 19. Orografía del municipio de Agustín Codazzi.....	
Figura 20. Perfil de Elevación Agustín Codazzi.....	
Figura 21. Zona de estudio 2005.....	
Figura 22. Zona de estudio 2010.....	
Figura 23. Zona de estudio 2012.....	
Figura 24. Zona de estudio georreferenciada en QGis.....	
Figura 25. Imagen georreferenciada.....	
Figura 26. Capa vectorial de puntos.....	
Figura 27. Interpolación cobertura de suelos.....	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y características de las fincas muestreadas.....	
Tabla2. Métodos utilizados en laboratorio.....	
Tabla 3. Estadística descriptiva para las variables estudiadas en la finca El Pañuelo.....	
Tabla 4. Estadística para las variables estudiadas en la finca Sierra Morena.....	

1. Introducción

A lo largo de estos últimos años se han multiplicado los esfuerzos por intentar estudiar el paisaje no sólo desde el punto de vista artística, sino científico y técnico. Se ha procurado analizar el paisaje y desarrollar métodos de valoración de los impactos producidos sobre el mismo (Smardon y cols.1995).

A partir de los años 80 la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica como sistema operativo ha venido apoyando el manejo de los recursos naturales, la planificación y el ordenamiento del uso de la tierra, demostrando que es una herramienta necesaria para manejar las diferentes aplicaciones dentro de una disciplina específica. (Arroyo L, 1999). De manera que estos han sido introducidos en la ciencia agropecuaria durante los últimos años, desarrollando tecnologías como el mapeo, interpolación, sensores remotos y modelación, que ha provisto de información útil para la investigación

En Colombia la implementación de los SIG para el desarrollo de trabajos de investigación relacionados con el uso del suelo y otros componentes ambientales es representativo, puesto que los planes de ordenamiento territorial, los POMCA, evaluación de riesgos naturales, planificación de red vial, catastros urbanos y rurales, entre otros documentos que son elaborados por entidades oficiales, hacen uso de estas herramientas para su diseño y definición.

La producción agropecuaria en Colombia en los últimos diez años se ha caracterizado por el uso de tecnologías limpias, como el establecimiento de sistemas agroforestales, silvopastoriles y silvícolas, en donde los SIG se han convertido en una herramienta significativa para la zonificación de cultivos, evaluación de tierras, manejo y conservación de suelos, planificación de plantaciones, análisis de erosión, entre otros.

Debido al impacto de los sistemas tradicionales de producción agropecuaria sobre los recursos naturales; hoy en día surge la necesidad de practicar sistemas de producción sustentables. En donde la agroforestería contribuye eficientemente en la creación de sistemas integrales de producción que ayudan a mantener la productividad, proteger los recursos naturales, minimizar los impactos ambientales y satisfacer las necesidades económicas y sociales de la población (Cáceres L, 2001). Por ello, en este documento se describen el uso de herramientas de los SIG en la implementación de sistemas silvopastoriles que buscan determinar e identificar los parámetros de calidad de suelo para la conservación de los recursos y el incremento de las actividades productivas, como en el caso del departamento de Caldas, en donde, mediante la georreferenciación e interpolación de imágenes de las dos fincas que tienen dos sistemas de producción ganadera (sistema silvopastoril y convencional) y un análisis de suelo se establece los parámetros de calidad del suelo.

2. Justificación

La agricultura al ser una actividad de producción de alimentos que trabaja con insumos naturales como lo son el suelo y el agua, al producir alimentos y al carecer de chimeneas por donde los gases contaminantes sean emitidos a la atmosfera, se ha visto libre de ser considerada durante mucho tiempo como una actividad con capacidad de crear impactos o efectos negativos en el medio ambiente. Hoy en día este concepto ha cambiado enormemente, al quedar demostrado que es susceptible de provocar graves daños en el entorno, su potencial dañino es incluso superior a determinados sectores industriales. (Sinergia, sfp)

En los últimos 10 años los productores han experimentado sequías prolongadas que han alterado la producción agropecuaria y la disponibilidad del agua; lluvias intensas que han provocado inundaciones en las partes bajas, deterioro de las vías de comunicación y el incremento de precios en los alimentos básicos. (Merino R, 2012) Estos eventos climáticos demuestran que se deben tomar acciones o implementar técnicas de producción que busquen mitigar esos impactos y que a su vez signifiquen altos rendimientos económicos y eficiente productividad. De manera que es necesario contribuir con diversas acciones hacia el aprovechamiento sustentable de los recursos ya que en la actualidad son explotados de una forma incorrecta y con el pasar del tiempo afectará a futuras generaciones.

La ampliación de la frontera agrícola principalmente por monocultivos, tala excesiva, quemas y desmonte de bosques para la ganadería son las actividades

destructivas más denunciadas, es por eso que se debe impulsar la aplicación y el manejo de los sistemas agroforestales. (Benavides A, 2013)

Los sistemas agroforestales surgen como una alternativa de desarrollo sostenible al facilitar el aprovechamiento de los recursos naturales y mejorar las condiciones de los suelos en aquellas zonas donde la degradación ha aumentado producto de la expansión de la frontera agrícola, el aprovechamiento no sostenible de los recursos forestales y los conflictos por uso del suelo, entre otros factores (Ministerio del Medio Ambiente et ál. 2000). Así mismo, la implementación de estos SAF en zonas rurales donde los factores agroambientales son fuertemente presionados, podrían ser una alternativa para prevenir procesos de degradación y, de ese modo, aumentar la seguridad alimentaria de las comunidades que habitan en estas zonas.

Para ello, es necesario conocer las diversas herramientas tecnológicas que existen a nuestra disposición con el fin de mejorar los resultados de ejecución y desarrollar un plan que permita estimar a tiempo real y de acuerdo a las condiciones del predio las potencialidades de los SAF, entre estas encontramos los sistemas de información geográfica que se convierten en una herramienta fundamental, ya que los resultados de las aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agro-ecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción, optimizando así los sistemas productivos y mejorando aspectos económicos, sociales, culturales y tecnológicos de las regiones beneficiarias.

3. Problemática

El territorio Colombiano es considerado como un lugar mega-diverso debido a que alberga el 14 % de la biodiversidad mundial y comprende una gama de sistemas ecológicos, climáticos y bióticos. Pero a pesar de su alta riqueza, se ha visto afectada en los últimos años por la acelerada transformación de los ecosistemas naturales en usos agropecuarios y agrícolas (Muerza, 2010).

Durante los últimos años los productores agropecuarios se han visto en la necesidad de implementar sistemas de producción que optimicen su productividad y que les coadyuve en el proceso de conservación de los recursos naturales disponibles en sus tierras y en el mejoramiento o recuperación de los mismos, generalmente estos sistemas se desarrollan de acuerdo a las necesidades y la disponibilidad de recursos físicos, económicos, agrícolas y /o pecuarios del productor, en donde no se aprovecha al máximo los mismos por desconocimiento de tecnologías y herramientas que facilitan y mejoran la labor.

En el departamento del Cesar el sector agropecuario a pesar de ser el más importante la implementación tecnológica o la apropiación de buenas prácticas agrícolas y /o pecuarias ha sido un proceso lento que se ve precedido de múltiples capacitaciones y exposiciones de transferencia tecnológica que los diferentes entes públicos y privados realizan para los productores. Sin embargo, la baja apropiación de estas tecnologías se debe al desconocimiento de las diversas herramientas que los sistemas de información geográfica prestan, sus aplicaciones, resultados y beneficios no solo en el ámbito productivo sino también en el aspecto económico y social.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar la implementación de Sistemas Agroforestales mediante el uso de herramientas de los sistemas de información geográfica.

4.2 Objetivos específicos

- Describir las características, funcionalidades, clases y usos de los sistemas agroforestales
- Caracterizar e identificar las aplicaciones de la georreferenciación como herramienta de los sistemas de información geográfico
- Describir los resultados de evaluación de los sistemas silvopastoriles mediante el uso de herramientas de sistemas de información geográfica en las fincas El Pañuelo y Sierra Morena del departamento de Caldas
- Realizar un análisis espacial en el municipio de Agustín Codazzi con el fin de describir el uso y aplicación de herramientas SIG y obtener información agrícola y forestal basada en el estudio en el departamento de Caldas.

5. Marco Teórico

5.1 Marco Histórico.

5.1.1 Origen de los Sistemas de Información Geográfico

Las bases para la futura aparición de los SIG se encuentran algunos años antes de la década de los sesenta, con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía que parecían predecir las necesidades futuras que un manejo informático de esta traería la primera información relevante en este tema se refiere en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in--map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía, en él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del software que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento.

El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, en el Departamento Federal de Energía y Recursos, este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG. Es en este momento cuando se acuña el término, y Tomlinson es conocido popularmente desde entonces como «el padre del SIG».

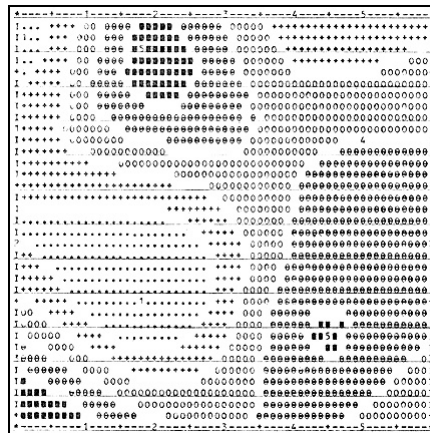
La aparición de estos programas no solo implica la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de técnicas nuevas que hasta entonces no habían sido necesarias. La más importante de ellas es la codificación y almacenamiento de la información geográfica, un problema en absoluto que entonces era clave para lograr un uso adecuado del software. El trabajo de Guy Morton con el desarrollo de su Matriz de Morton, juega un papel primordial (Foresman 1998, Prentice) superando las deficiencias de los equipos de entonces, tales como la carencia de unidades de almacenamiento con capacidad de acceso aleatorio, que dificultaban notablemente el manejo y análisis de las bases de datos.

Simultáneamente a los trabajos canadienses, se producen desarrollos en Estados Unidos, en el Harvard Laboratory, y en el Reino Unido dentro de la Experimental Cartography Unit. Ambos centros se erigen también como principales desarrolladores de software para la producción, manejo y análisis de información geográfica durante aquellos años.

En el Harvard Laboratory, ve la luz en 1964 SYMAP, un aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual corresponde a grandes rasgos con el enfoque que se conoce hoy en día como vectorial. En la (Imagen 1) puede observarse que los resultados cartográficos de este software son aún de poca calidad. No obstante, el interés que despertaron las novedosas capacidades del programa para la generación de cartografía impulsó su desarrollo y la evolución hacia sistemas más avanzados.

En 1969, utilizando elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton, también en el Harvard Laboratory, desarrolla GRID, un programa en el que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de los programas, pero no para la entrada y almacenamiento de datos. Son los inicios de los Sistemas de Información Geográfica ráster.

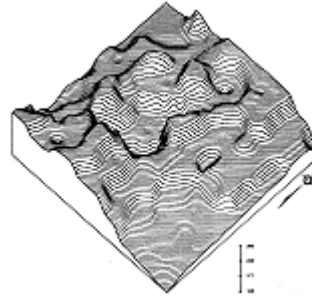
Figura 1. Aspecto de un mapa generado con SYMAP



Fuente: (Ecured.cu, 2017)

SYMAP evoluciona y nuevos programas aparecen, tales como SYMVU (Figura 2), con representación tridimensional, o CALFORM, con nuevas capacidades de representación y de generación de resultados impresos. GRID da lugar a IMGRID (Interactive Manipulation GRID), que sentará la base para el trabajo de Dana Tomlin con su paquete MAP, el cual incluye todos los elementos que hoy en día son imprescindibles para el análisis ráster

Figura 2. Representación tridimensional creada con SYMVU

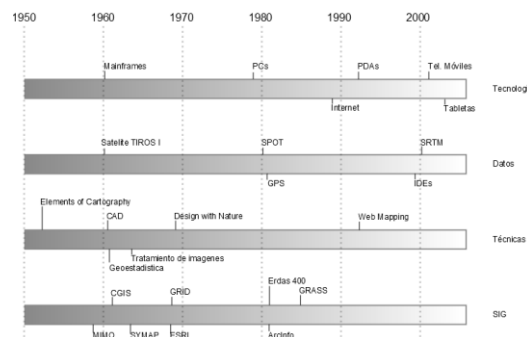


Fuente: (Ecured.cu, 2017)

Si la década de los sesenta es la de los pioneros y las primeras implementaciones, la de los setenta es la de la investigación y el desarrollo. A partir de los SIG iniciales se va dando forma a un área de conocimiento sin duda con gran futuro, y se elabora una base sólida de conocimiento y de herramientas aptas para un uso más genérico. Sin haber entrado aún en la época del uso masivo y generalizado, los primeros paquetes comienzan a distribuirse y pasan a incorporarse a la comunidad cartográfica.

A partir de este punto, el campo de los SIG recorre sucesivas etapas hasta nuestros días (Figura 3), evolucionando muy rápidamente ante la influencia de numerosos factores externos.

Figura 3. Esquema temporal de la evolución de los SIG



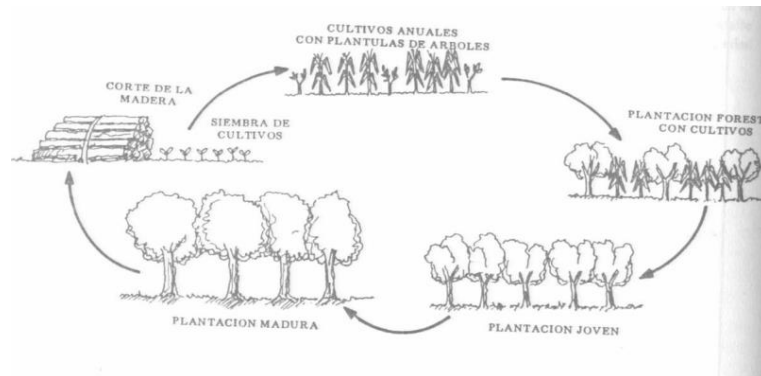
Fuente: (Ecured.cu, 2017)

5.1.2 Orígenes de los Sistemas Agroforestales

El cultivo de los árboles y plantas agrícolas en íntima combinación, es una práctica ancestral que los agricultores han utilizado a través de la historia del mundo. En lugares como América es común la realización de la agricultura migratoria que consiste en la tumba, roza y quema de las tierras y de la implementación de huertos caseros. Lo anterior indica que la agroforestería era implementada mas no conocida con esta terminología y en donde su objetivo inicial no era la producción de madera sino de alimentos.

En 1860, en Birmania se estableció una plantación de Teca (*Tectona grandis*), utilizando un método llamado TAUNGYA, el cual significa agricultura en laderas.

Figura 4. Esquema de un sistema Taungya



Fuente: (Monografias.co, 2017)

La filosofía del sistema Taungya fue establecer plantaciones forestales en donde no era posible emplear la tierra para uso agrícola. En pago a esta labor (plantar) a los campesinos se les permitía cultivar la tierra entre las líneas de plantación para producir cultivos alimenticios.

Para 1970, muchas actividades realizadas en el pasado contribuyeron a la aceptación general de la agroforestería como un sistema de uso de la tierra y se basaron en la revisión de algunos ítems como las políticas de desarrollo del Banco Mundial, las políticas forestales de la FAO, la situación de seguridad alimentaria de países subdesarrollados, la crisis energética de los 70 y las prácticas inadecuadas que aceleraban el deterioro ambiental.

En 1975 el Centro Internacional de Investigaciones de Canadá, comisionó a John Bene para realizar una investigación sobre el estado actual de la forestería y la agricultura mundial, de manera que se pudieran formular programas de investigación forestal en los diversos países y un plan de acción para el apoyo económico de los mismos. De manera que Bene y su equipo concluyeron que la prioridad debería ser dada para sistemas de producción combinados los cuales podrían integrar la forestería, la agricultura y/o ganadería con el objetivo de optimizar el uso de las tierras tropicales.

Por lo cual para el año 1977 el equipo recomendó crear un consejo internacional que tuviera como objeto la investigación en la agroforestería, ese mismo año se creó el ICRAF (Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería), posteriormente Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería, y actualmente Centro Mundial de Agroforestería (World Agroforestry Centre) con su sede central en Kenia delegaciones en Asia y América Tropical. Este centro ha sido el precursor y ejecutor de coleccionar información, establecer investigaciones, divulgar, resultados, ser pioneros de nuevos enfoques, de sustentar las inquietudes y demostrar la viabilidad de los sistemas agroforestales.

5.2 Marco Conceptual

5.2.1 Sistemas agroforestales SAF

Son una forma de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales, en un arreglo espacial (topológico) o cronológico (en el tiempo) en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial (Mantagnini, F. 1992)

Así mismo Nair (1993), define a los sistemas agroforestales como formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales especies leñosas árboles y arbustos, son utilizadas en un ámbito sostenible al desarrollo de cultivos agrícolas y/o animales produciendo interacciones ecológicas y económicas entre los componentes

Las formas de producción agroforestal son aplicables tanto en ecosistema frágil como estable, a escala de campo agrícola, finca, región, a nivel de subsistencia o comercial. El objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar el nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, respetando el principio de sistema sostenido (Mantagnini, F. 1992)

Por tanto, La agroforestería se puede considerar como la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales en forma simultánea o

secuencial, garantizando a largo plazo una productividad aceptable y aplicando prácticas de manejo compatible con las habituales de la población local (Palomeque, F. 2009)

5.2.2 Componentes de los Sistemas Agroforestales

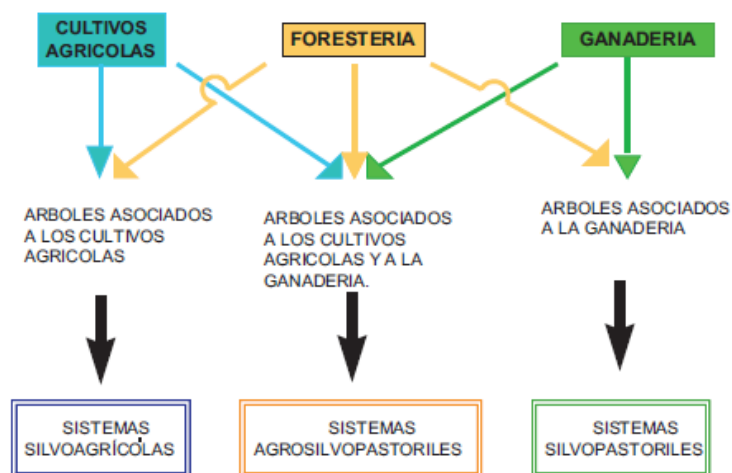
Las especies vegetales leñosas son aquellas que poseen lignina como elemento de sus tejidos, e incluyen: Árboles, helechos arborescentes, gramíneos, cactus gigantes, y arbustos como el café, entre otros. Los no leñosos poseen tejido vegetal poco o no lignificado, no presentan consistencia rígida, tienen porte bajo y su ciclo de vida es ligeramente inferior a un año (Benavides A, 2013)

Este componente incluye cultivos agrícolas transitorios y semipermanentes, hierbas y praderas. El componente pecuario, incluye bovinos, ovinos, equinos, porcinos, insectos como abejas y gusanos como el de seda. Los propósitos de incorporar el componente leñoso pueden ser múltiples y diversos. Así, en algunos casos puede ser para incrementar la productividad del recurso suelo y el beneficio neto del sistema en el largo plazo; en otros, reducir el riesgo a través de la diversificación de las salidas del sistema (p.ej. frutas, madera) o atenuar los efectos perjudiciales del estrés climático sobre plantas y animales (Gutiérrez B, 2003).

5.2.3 Clasificación de los Sistemas Agroforestales

Por la complejidad de los sistemas agroforestales existen diferentes criterios para su agrupación; entre los criterios de clasificación más frecuentes se tienen: Sistemas Silvopastoriles, Agrosilvoculturales y Agrosilvopastoriles. (Gutiérrez B, 2003).

Figura 5. Clasificación de los sistemas agroforestales



Fuente: (SAGARPA, s.f.p)

5.2.4 Sistemas Silvopastoriles o Sistemas agroforestales Pecuarios-SAFP

Según la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) los “sistemas silvopastoriles son una modalidad de agroforestería pecuaria, que asocia los árboles y arbustos con pastos de pastoreo o pastos de corte” (Calle et al., 2002). Para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), “un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), e interactúa con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas o pastos), todos ellos bajo un sistema de manejo integral” (Pezo & Ibrahim, 1997)

5.2.5 Sistemas Agrosilvoculturales

Son una opción de producción agrícola, que integra cultivos agrícolas transitorios y semipermanentes con la presencia de leñosas perennes (árboles, frutales, arbustos), todos bajo un manejo de sistema integral. (Gutiérrez B, 2003).

5.2.6 Sistemas Agrosilvopastoriles.

Los sistemas agrosilvopastoriles se refieren al manejo integrado del conjunto de procesos productivos al interior de la unidad de producción, así como las prácticas de conservación relacionadas con el aprovechamiento de los recursos naturales. Desde este punto de vista, conviene enfocarlos como un sistema compuesto por subsistemas y por las interacciones que ocurren entre ellos. En este sentido se puede decir que el objetivo de los sistemas agrosilvopastoriles es mejorar la producción mediante el uso integrado de los recursos de la unidad productiva, incluyendo principalmente componentes agrícolas, pecuario, forestal/agroforestal y familiar (CATIE, 1993)

5.3 Ventajas de los Sistemas Silvopastoriles

5.3.1. Beneficios de los sistemas silvopastoriles

Según Libreros (2015) los sistemas silvopastoriles contribuyen a: reducir los problemas ambientales; mejorar el bienestar de los animales; incrementar la productividad animal y por área y además generan servicios ambientales. Los principales beneficios ambientales y productivos de estos sistemas, son:

- Captura y almacenamiento de carbono: ya que aumentan los depósitos de carbono a través de la materia orgánica de los suelos y el almacenamiento que se hace en tronco, ramas y raíces de la vegetación asociada.
- Conservación de la biodiversidad: Pues ayudan a conservar diversidad de plantas y animales y contribuyen a la supervivencia de diferentes especies de la flora nativa, facilitando la regeneración de algunas plantas pertenecientes al bosque nativo.
- Regulación hídrica y conservación de fuentes de agua: Los árboles aumentan la capacidad de retención, infiltración, circulación y almacenamiento de agua en el suelo; atenúan o reducen la fuerza de la lluvia que cae, protegiendo contra la erosión y conservando manantiales, ríos y quebradas; disminuyendo el daño causado por las inundaciones, favorecen la regulación de caudales y reducen la evaporación directa.
- Prevención de derrumbes, erosión, compactación y formación de cárcavas (calvas): Tanto los árboles, como los pastos de cobertura, forman una malla de raíces a diferentes profundidades y amplitud, lo que hace que se retenga el suelo y se produzca un efecto protector efectivo contra derrumbes, erosión, compactación y cárcavas de los suelos, especialmente durante aguaceros torrenciales, sequías intensas y sobrepastoreo.
- Mejoramiento de la productividad del suelo: Puesto que la mayoría de los árboles, poseen un sistema radicular bien desarrollado, extraen agua y nutrientes desde las profundidades del suelo y los depositan sobre la superficie,

dando como resultado un mejor reciclaje de nutrientes y una mayor productividad del suelo.

- Mejoramiento de la productividad de animales y fincas: Debido a la alta densidad de árboles y arbustos forrajeros que se acostumbra establecer, a la mayor producción y calidad del pasto asociado y al efecto del sombrío, hace que se produzca más cantidad y calidad de biomasa comestible para los animales y se mejore la temperatura ambiente (entre 3° C y hasta 10° C), reduciendo el estrés calórico, mejorando el bienestar de los animales y del ecosistema del rumen e incrementando la producción de leche, carne y crías de los animales y de la finca.
- Refugio de entomofauna benéfica y fauna silvestre: Los árboles, arbustos y otras especies vegetales que se asocian, proporcionan alimento y refugio a gran cantidad de aves e insectos

5.3.2. Desventajas de los Sistemas Agroforestales

No todos los aspectos son positivos, también se presentan algunas desventajas, Las investigaciones y experiencias presentadas, ofrecen conocimientos, técnicas y saberes que permiten avanzar en la construcción de un nuevo paradigma de productividad sustentable, fundada en el potencial productivo de los ecosistemas de diferentes regiones, incrementado por el diseño de tecnologías mejoradas que a la vez producen impactos negativos sobre el ambiente (Krishnamurthy, Uribe Gómez, 2002)

- ✓ Disminución de producción de los cultivos principalmente cuando se aplican las malas prácticas; utilizando demasiados árboles o especies incompatibles.
- ✓ Pérdida de nutrientes cuando la madera y otros productos forestales son cosechados y exportados fuera de la parcela.
- ✓ Mal manejo en la extracción de los productos o subproductos de los SAF.
- ✓ Afectación del cultivo a causa de la competencia, de nutrientes, luz y agua.

Para Mendieta y Rocha (2007), al realizarse un análisis comparativo entre las ventajas y desventajas de los SAF, se observa que en cuanto a las ventajas se encuentran factores favorables de productividad, sostenibilidad y adaptabilidad lo cual genera un impacto ambiental favorable en el proceso de sistemas agroforestales en las diferentes interacciones de cultivos.

5.4 Limitaciones de los Sistemas Agroforestales

Las restricciones ecológicas para un sistema agroforestal principalmente vienen observando su aplicación en ecosistemas específicos y en ciertas tierras de baja calidad, donde la opción de utilizar diferentes especies de plantas no sean convenientes porque podrían estar limitando su desarrollo. La competencia entre los árboles y los cultivos y la prioridad que debe darse a ellos para satisfacer las necesidades básicas puede excluir a granjeros pobres que tienen parcelas muy pequeñas, obligándolos a priorizar el desarrollo de sus árboles. Una restricción económica común es la inversión inicial. Este

tipo de inversiones requiere del apoyo financiero para mantener un período de espera inicial, hasta que los primeros rendimientos sean obtenidos (Yana, Walter, 2005).

El tamaño de la parcela puede afectar el tipo de ingresos. En las áreas con una presión demográfica alta, las tierras privadas podrían ser demasiado pequeñas como para una producción unitaria viable. En este caso, algún esfuerzo cooperativo podría ser necesario. La disponibilidad de semillas y/o arbolillos adecuados es una variable crítica para proyectos agroforestales. El manejo del ganado, a veces, puede chocar con la agrosilvicultura. La fauna es un problema en algunas áreas, amenazando los proyectos de forestación. Las plagas también pueden amenazar la agrosilvicultura. La tenencia de la tierra en áreas comunales puede constituirse en una dificultad y son una consideración fundamental en agroforestería, que puede ser un factor limitante por sus derechos (Yana, Walter, 2005).

5.5 Indicadores de calidad y fertilidad del suelo

La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter et al., 1997; citado por Bautista et al., 2004). (Power & Myers (1989), citados por Doran y Parkin, (1994); definen calidad como: “La capacidad del suelo para apoyar el crecimiento de cultivos, que incluye factores tales como el grado de estabilidad, la agregación, contenido de materia orgánica, la profundidad del suelo, capacidad de retención de agua, la tasa de infiltración, cambios de pH, capacidad de nutriente”. Según Larson y Pierce (1991), citados por Doran y

Parkin, (1994); es la capacidad de un suelo para funcionar con los límites de los ecosistemas y de interactuar positivamente con el entorno externo a ese ecosistema. En pocas palabras, aptitud para su uso (Pierce & Larson, 1993; citados por Doran & Parkin, 1994). Doran y Parkin (1994) definen calidad como: "la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema y el uso de la tierra, para sostener la productividad, mantener la calidad del medio ambiente, y promover la salud de las plantas y de los animales"; siendo este el concepto más utilizado para definir el término calidad de suelo. Así mismo ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso (Bautista et al., 2004).

Los indicadores de calidad del suelo son variables que sirven para evaluar la condición del suelo, pues representan dicha condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esta (Dumanski et al., 1998; citado por Bautista et al., 2004). Los indicadores pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él; deben ser seleccionados de acuerdo con las funciones del suelo de interés (Nortcliff, 2002), y los valores umbral se deben identificar con base en las condiciones locales para generar un índice de la calidad significativa.

La fertilidad del suelo es un concepto amplio que no necesariamente significa lo mismo para todas las personas. La versión más moderna incluye tres tipos de fertilidad,

la química, la física y la biológica. Un enfoque adecuado del diagnóstico involucra los tres tipos aunque por lo general se privilegia el primero (Etchevers y Padilla, 2007).

Bajo condiciones de campo el crecimiento y desarrollo de las plantas es el producto de la interacción e interdependencia de todos los factores del medio ambiente, los cuales son clima, ambiente edáfico (suelo) y planta (potencial genético).

La presencia por si sola de los elementos nutritivos requeridos por las plantas no da buena cuenta de la fertilidad del mismo ya que además de estar presentes los elementos en el suelo estos deben estar disponibles para la planta y esa disponibilidad está regulada por propiedades físicas del suelo como aireación, disponibilidad de agua, facilidad de la penetración de raíces y temperatura. También la disponibilidad de los elementos en el suelo va a estar regido por la biología del suelo lo cual es válido específicamente para los ciclos del carbón, nitrógeno y azufre los cuales dependen ampliamente de la actividad biológica en el suelo. La mineralogía del suelo y el grado de humificación regulan en buena medida la capacidad de intercambio catiónico (CIC) contribuyendo de manera significativa a la fertilidad de los mismos. (Gálvez J, 2016)

Las pérdidas de nutrientes en suelos se deben básicamente a fenómenos como lixiviación, escorrentía, volatilización y erosión La degradación del suelo implica el cambio en una o más de sus propiedades a un estado que es peor que el original, como resultado de los procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales, la degradación del suelo provoca alteraciones en la fertilidad y la capacidad del suelo para

sostener la actividad agrícola productiva (El-Swaify & Dangler, 1982 citados por Romero et al., 2012).

5.6 Efectos positivos de la incorporación de silvopastoriles sobre el suelo

La incorporación de leñosas perennes (árboles y arbustos) en los sistemas ganaderos tradicionales tiene los siguientes beneficios:

Reciclaje de nutrientes: El manejo de gramíneas acompañado con árboles y/o arbustos, permite que una fracción representativa de los nutrientes que son extraídos de la solución edáfica sea retornada a ella mediante la deposición, en la superficie del suelo, del follaje y residuos de pastoreo o podas. Esta mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura (Sadeghian et al., 1994).

Fijación de N: Las leguminosas se asocian con bacterias del género *Rhizobium* para captar nitrógeno atmosférico haciéndolo disponible para las gramíneas en el suelo. En promedio se estima una fijación de 200 kg N/ha/año en el trópico (Giraldo, 2000).

Profundidad de las raíces: El sistema radicular extendido y profundo de los árboles, aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes (Gutiérrez, (1995) citado por Sadeghian et al., (1994)).

Acción de micro y macro fauna: La mayor presencia de materia orgánica en el suelo y el microclima (humedad y temperatura) creado por la presencia de árboles, favorece la actividad biológica de la micro y macro fauna, lo cual resulta en una mayor

mineralización y disponibilidad de N en el suelo (Belsky et al., 1993). Además, la materia orgánica que es incorporada paulatinamente al suelo por la acción de la endofauna, contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y la capacidad de infiltración de agua.

Control de erosión: Los árboles en sistemas silvopastoriles cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Fassbender, 1993). Gómez y Velásquez (1999) citados por Mahecha, (2002), demostraron que en suelos descubiertos o con monocultivos de gramíneas, la pérdida de suelo es mayor que en los bosques. El control de la erosión hídrica por parte de los árboles se debe a varios efectos: Reducción del impacto de la lluvia sobre el suelo, aumento de la infiltración, permanencia de materia orgánica sobre la superficie del suelo y efecto agregado de las partículas del suelo (Carvalho et al., 1994).

5.7 Sistemas de Información Geográfica

Es un sistema compuesto por hardware, software, procedimientos y equipo humano para capturar, manejar, manipular, transformar, analizar y modelizar datos geográficos, permitiendo representar los objetos del mundo real en términos de posición, atributos y de las interrelaciones espaciales, con el objeto de analizar estos datos y de resolver problemas de gestión y planificación. Pudiendo realizar preguntas a la B.D. (Dávila F, sfp)

En general, un Sistema de Información (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de SI en el que la información aparece georreferenciada es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM).(Sarria, F. 2012)

5.7.1 Objetivos de un SIG

- ✓ Almacenamiento, manejo y manipulación de grandes volúmenes de datos espacialmente referenciados.
- ✓ Proveer los medios para llevar a cabo análisis que implican, de manera específica, el componente de posición geográfica.
- ✓ Organización y administración de los datos, de tal forma que la información sea fácilmente accesible a los usuarios.
- ✓ Vinculación de diversas bases de datos (INEG, 2014)

5.7.2 Componentes de un SIG

Podríamos considerar, en sentido amplio que un SIG está constituido por: (Sarria, F. 2012)

- ✓ Bases de datos espaciales en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.

- ✓ Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.
- ✓ Conjunto de programas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.
- ✓ Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG como otros programas de apoyo. Debido a los requerimientos de velocidad, almacenamiento y memoria RAM de un SIG, generalmente es preferible destinar un ordenador en exclusiva a la implementación del SIG, bien sea actuando como servidor o como ordenador personal.
- ✓ Comunidad de usuarios que pueda demandar información espacial.
- ✓ Administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos de los usuarios bien utilizando las herramientas disponibles o bien produciendo nuevas herramientas.

5.7.3 Atributos especiales de los SIG

Son datos externos que se elazan a la información espacial, a la geometría y topología, para describir el fenómeno en cuestión. Por ejemplo, si una línea define un camino, el atributo de este será: su calidad, ancho, nombre, entre otros. (Arroyo, L 1999).

Todos los fenómenos espaciales pueden ser definidos por los SIG sobre la base de tres elementos básicos: Puntos, líneas y áreas. Se expresan como puntos aquellos

elementos que se asocian con una sola localización en el espacio. Se representan mediante un par de coordenadas. Por ejemplo, torres, pozos, casas, etc. Las líneas son aquellos elementos que requieren de una secuencia de coordenadas espaciales. Por ejemplo: ríos, red vial, tendida eléctrica, etc. Los polígonos o áreas, representadas por una secuencia de coordenadas espaciales que se cierran en un punto. Así podemos representar: áreas geológicas, zonas climáticas, cuencas hidrográficas. (Arroyo L, 1999)

5.7.4 Utilización de un Sistema de Información Geográfica

Las funciones básicas, y más habitualmente utilizadas, de un SIG son el almacenamiento, visualización, consulta y análisis de datos espaciales. Un uso algo más avanzado sería la utilización de un SIG para la toma de decisiones en ordenación territorial o para la modelización de procesos ambientales. (Sarria, F. 2012)

5.7.4.1 Almacenamiento

El primer problema que se plantea al trabajar con un SIG es el cómo codificar y almacenar los diferentes fenómenos que aparecen en la superficie terrestre. El primer paso para conseguirlo es desarrollar modelos de datos adecuados. Es decir, el almacenamiento de datos espaciales implica modelizar la realidad y codificar de forma cuantitativa este modelo. (Sarria, F. 2012)

5.7.4.2 Visualización

La diferencia básica entre un Sistema de Información en sentido amplio y un SIG es que este último maneja datos espaciales. Estos se presentan en un espacio de cuatro

dimensiones (3 espaciales y el tiempo) pero debido al peso que la tradición cartográfica tiene sobre los SIG, una de las formas prioritarias de presentación de los datos es en su proyección sobre el espacio bidimensional definido mediante coordenadas cartesianas. Hoy en día están apareciendo un gran número de programas sencillos que se centran en la visualización y consulta de datos espaciales, lo que se conoce como desktop mapping, que es un complemento a los SIG más que SIG en sí mismo. Sin embargo gran parte de la popularización de los SIG se debe a este tipo de aplicaciones ya que han permitido introducir la dimensión espacial de la información de forma sencilla en entornos de trabajo en los que no existía una tradición a este respecto (Sarria, F. 2012)

5.7.4.3 Consultas

Un paso adelante sería la obtención de respuestas a una serie de consultas sobre los datos y su distribución en el espacio. Una consulta a una base de datos implica:

- ✓ Seleccionar el subconjunto de datos que el usuario necesita en función de un conjunto de criterios previamente definidos. Por ejemplo todos los municipios con una población mayor de 30000 habitantes.
 - ✓ Presentarlo al usuario de forma útil bien sea tablas (con listados de los municipios ordenados según diversos criterios), gráficos o mapas en los que los municipios de más de 30000 habitantes aparezcan de un determinado color.
- Las tablas dan una información más exacta, pero los mapas presentan sobre las tablas la ventaja de que aportan información espacial. (Sarria, F. 2012)

5.7.4.4 Análisis

Más sofisticado sería el uso de herramientas de análisis espacial y álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos. (Sarria, F. 2012)

5.7.4.5 Modelización

Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de modelos matemáticos de procesos naturales, dinámicos y espacialmente distribuidos. Los objetivos perseguidos pueden ser tanto científico como de planificación y ordenación. (Sarria, F. 2012) Por ejemplo:

- ✓ ¿Qué áreas pueden inundarse en caso de producirse un episodio lluvioso dado?
- ✓ ¿Qué consecuencias ambientales puede tener un embalse aguas abajo de su ubicación? ¿Cómo podría mejorarse la eficiencia en el uso del agua?
- ✓ ¿Cuál va a ser el impacto sobre el medio de dicha actividad?

5.7.5 Aplicaciones de los SIG

Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan (Sarria, F. 2012):

5.7.5.1 Científicas

- ✓ Especialmente en ciencias medioambientales (en sentido amplio) y relacionadas con el espacio.
- ✓ Desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo los que relacionan temperatura con altitud, orientación, etc. a partir de medidas tomadas en el lugar.
- ✓ Modelización cartográfica (aplicación de modelos empíricos para hacer mapas de temperatura a partir de mapas de altitud, orientación, etc.)
- ✓ Modelos dinámicos (utilización de las leyes de la termodinámica y la dinámica de fluidos para hacer un mapa de temperatura utilizando un mapa de elevaciones, entre otros, como condiciones de contorno.
- ✓ Teledetección, las imágenes de satélite son estructuras raster que se manejan de forma óptima en un SIG (Sarria, F. 2012)

5.7.5.2 Gestión

Según Sarria, F. en el 2012, las principales actividades gestión son:

- ✓ Cartografía automática
- ✓ Información pública, catastro
- ✓ Planificación de espacios protegidos
- ✓ Ordenación territorial
- ✓ Planificación urbana
- ✓ Estudios de impacto ambiental
- ✓ Evaluación de recursos
- ✓ Seguimiento de las consecuencias de determinadas actuaciones (presas, diques, carreteras)

5.7.5.3 Empresarial.

En el ámbito empresarial Sarria F (2012), determina la aplicación de los SIG en:

- ✓ Marketing (envió de propaganda a los residentes cerca del local que cumplan determinadas condiciones)
- ✓ Estrategias de distribución (optimización de las rutas que una flota de camiones debe realizar para distribuir mercancía desde varios almacenes a varios clientes)
- ✓ Localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales situados alrededor

5.7.6 Funcionamiento de un SIG

El SIG funciona con una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos), es decir, que permite hacer mapas digitales de un “algo”, y de la identificación de los objetos allí presentes y su manipulación. Así, en los SIG cada objeto de un modelo del paisaje posee un registro en la base de datos con sus atributos respectivos, facilitando así el manejo administrativo y contable. (Becerra L, Segura M. 2012)

5.7.7 Utilidades de un SIG en el sector Agropecuario

Entre sus múltiples utilidades sobresalen, (Becerra L, Segura M. 2012)

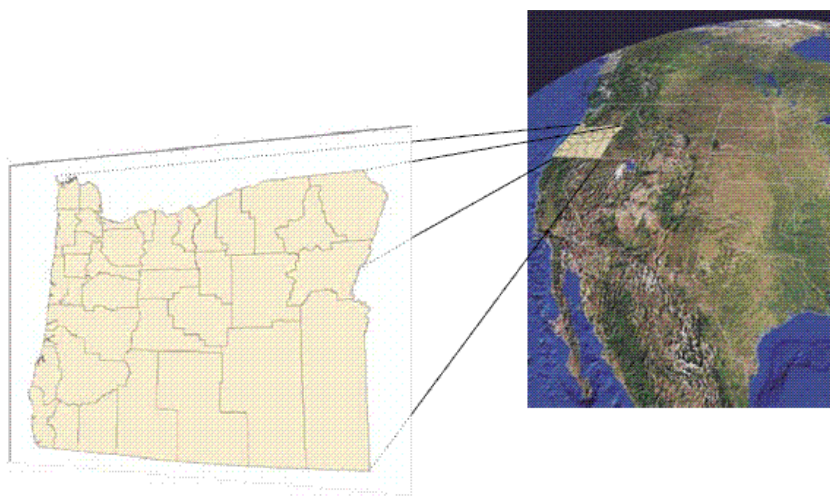
- ✓ Apoyo en la fase de diagnóstico del cultivo
- ✓ Facilidad en el análisis de la información suministrada por el agricultor

- ✓ Facilidad en las consultas sobre el estado del cultivo
- ✓ Mayor nivel de procesamiento, integración y calidad de datos
- ✓ Información detallada, confiable y georreferenciada
- ✓ Permiten una detección y cuantificación rápida de cambios espaciales y no espaciales entre niveles temáticos de periodos distintos

5.8 Georreferenciación

La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. (Arcgis.com, 2017)

Figura 6. Georreferenciación



Fuente: (Arcgis.com, 2017)

5.8.1 Sistemas de coordenadas

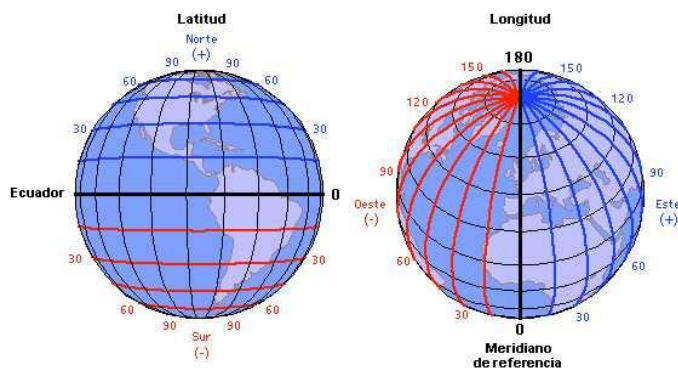
Con el fin de ubicar un punto en la superficie terrestre se crearon sistemas de referencia, que son los sistemas de coordenadas y de las cuales existen dos de mayor uso, el sistema de coordenadas geográficas y el sistema de coordenadas plana.

Sistema de Coordenadas Geográficas Este sistema fue creado por el astrónomo y geógrafo Hipparchus de Rhodas. Se expresa en términos de latitud y longitud y dan la ubicación de un punto con respecto al meridiano de Greenwich, el cual divide la tierra en hemisferio oriental y occidental, y del plano Ecuatorial que a su vez la divide en hemisferio norte y sur, según la distancia angular a estos, por esta razón la unidad utilizada en este sistema son los grados sexagesimales (IGAC, 2002, et al Escobar, 2011).

Latitud es la distancia angular de un punto al plano del Ecuador, el cual pasa por el centro de la tierra y es perpendicular al eje de rotación, se consideran líneas imaginarias llamadas paralelos, los puntos que se ubiquen al norte del Ecuador se nombran como Norte N, y los que se ubiquen al sur se denominan Sur S, el paralelo del Ecuador es latitud 0° y a partir de allí aumenta (hacia el norte ó sur) hasta llegar a los 90° ó -90° respectivamente, por lo tanto los polos son latitud 90° N y 90° S. (Escobar, 2011)

Por su parte Longitud es la distancia angular de un punto y el meridiano de Greenwich y las líneas imaginarias que cruzan la tierra perpendicular al eje de rotación se llaman meridianos. El punto 0 se encuentran en Greenwich, Londres, y se mide de 0° a 180° según la ubicación con respecto al meridiano de Greenwich se denominan Este (E) u Oeste (W). (Escobar, 2011)

Figura 7. Paralelos y meridianos



Fuente: (Escobar, 2011)

Sistema de Coordenadas Planas o de GAUSS: Los mapas de escala media (1:25000 a 1:100000) se elaboran utilizando el sistema de proyección Transversal de Mercator Modificada (TM) o conforme de Gauss, que es una proyección cilíndrica transversal tangente a la esfera a lo largo de un meridiano. Este sistema de proyección presenta mayores deformaciones hacia el este y el oeste. (Ochoa, 2006)

5.8.2 Software para georreferenciar

Google Earth

Google Earth es un aplicativo informático compatible con los sistemas de información geográfica diseñado inicialmente por la empresa Keyhole Inc. y comprada por Google Inc. en el 2004 la cual le proporcionó la gratuidad al servicio. Google Earth permite visualizar imágenes satelitales de casi la totalidad del planeta bajo el motor de búsqueda de Google, así como realizar las siguiente funciones, entre otras: (Google Inc.)

- ✓ Explorar contenido geográfico del planeta.
- ✓ Buscar la ubicación de ciertos elementos geográficos.
- ✓ Observar edificios 3D.
- ✓ Visualizar los seguimientos GPS y compartirlos con otros usuarios.
- ✓ Explorar contenido geográficos del cielo, la Luna y Marte.

ArcGis

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios.

ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. (ArcGis, 2017)

Global Mapper

Esta herramienta sirve para que se pueda analizar la topografía (zonas de pendiente) e hidrografía (drenaje, existencia de cuerpos de agua) del área de estudio.

6. Marco Geográfico

6.1 Departamento de Caldas

Caldas es uno de los treinta y dos departamentos que, junto con Bogotá, Distrito Capital, forman la República de Colombia. Su capital es Manizales. Está ubicado en el centro del país, en la región andina, limitando al norte con Antioquia, al noreste con Boyacá, al oeste con Cundinamarca y al sur con Tolima y Risaralda. Con 7888 km² es el quinto departamento menos extenso.

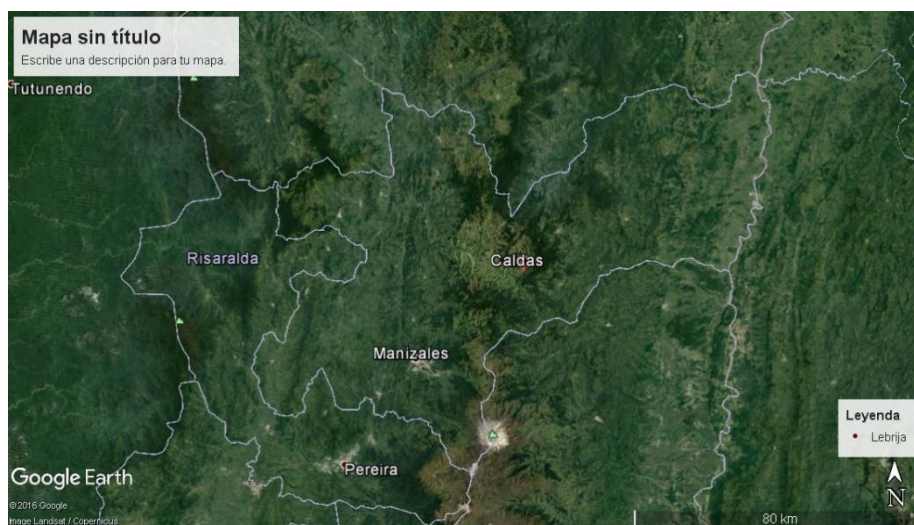
En este departamento es posible encontrar todos los pisos térmicos, desde los cálidos valles del río Magdalena y el río Cauca hasta las nieves perpetuas del Nevado del Ruiz. Predomina la topografía montañosa

La presencia de las cordilleras Occidental y Central determina la distribución de las corrientes de agua que drenan hacia las dos principales cuencas, la del río Magdalena, en el límite oriental, y la del Cauca en el occidental.

La cuenca del río Magdalena capta las aguas de los ríos que nacen en la cordillera Central y que corren por la vertiente oriental, como los ríos Samaná y La Miel entre

los principales. Por su parte, la cuenca del Cauca recibe los ríos que drenan la vertiente occidental de la cordillera Central y la vertiente oriental de la cordillera Central, como el Arma, Pozo, Tareas, San Francisco, Chinchiná, Risaralda y Supía. (Min Comercio, 2012)

Figura 8. Ubicación geográfica Departamento de Caldas



Fuente: El autor

6.2 Departamento del Cesar

Está ubicado al noreste del país, en las regiones Andina y Caribe, limitando al norte con la Guajira, al este con Venezuela, al sureste con Norte de Santander, al sur con Santander, al suroeste con Bolívar y al oeste con Magdalena.

El Departamento del Cesar se encuentra dividido en seis regiones naturales, que representan igual número de zonas ecológicas:

Sierra Nevada de Santa Marta

Ocupa la porción noroccidental del Departamento y es compartida con los Departamentos del Magdalena y La Guajira. Es un sistema montañoso antiguo de edad superior a la de los Andes, por lo que no hay vestigios de vulcanismo y está compuesta por rocas metamórficas con afloramientos ígneos del terciario. Las máximas altitudes de esta zona en territorio cesarense son los picos La Reina y Ojeda con altitudes superiores a los 5300 m.s.n.m

Serranía del Perijá

Recorre la totalidad del Departamento en su zona oriental, siendo el dorso de esta cordillera el límite natural con el Estado del Zulia perteneciente a la República Bolivariana de Venezuela. Nace en el Nudo de Santurbán junto con la Cordillera de Mérida y sigue su recorrido por el norte hasta los límites con La Guajira donde se convierte en los Montes de Oca. Su altitud máxima lo constituye el Cerro Pintado con 3660 m.s.n.m.

Complejo Cenagoso de Zapatosa

Se ubica en el Centro del Departamento, y hace parte de la Depresión Momposina. En este sector el río Cesar anega un vasto territorio formando un complejo lagunar de agua dulce con espejos de agua de más de 300 km²

Valle del Rio Cesar

Ocupa la parte central del Departamento y hace parte de la Llanura del Caribe, son tierras planas u onduladas con altitudes entre los 50 y 200 m.s.n.m. cubiertas de pastizales y bosque claro.

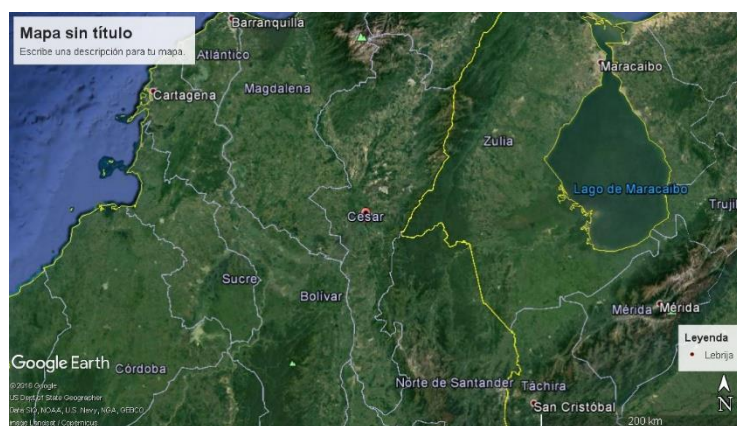
Valle del Río Ariguani

A esta región pertenecen los términos municipales de El Copey y Astrea, es de características fisiográficas similares al Valle del Cesar pero pertenecientes a la Cuenca del Río Ariguani.

Valle del Magdalena

Se localiza al sur del Departamento, y está constituida por zonas bajas y planas cubiertas de bosque denso que en gran parte ha sido transformado en pastizales para dar sustento a una importante cabaña bovina y a una de las comarcas agrícolas más productivas del país.

Figura 9 . Departamento del Cesar



Fuente: El autor

7. Identificación de Parámetros de Calidad de Suelo de los Sistemas Silvopastoriles Mediante el Uso De Herramientas de Sistemas de Información Geográfica (Georreferenciación e Interpolación) en Comparación con Sistemas Convencionales

La investigación tomada como punto de referencia para el departamento del Cesar, fue realizada en cinco fincas del departamento de Caldas, que se dedican a la producción ganadera bovina y cuentan con dos sistemas de pastoreo uno silvopastoril conformado por botón de oro y con más de un año de establecimiento y un sistema convencional. Sin embargo este documento solo expondrá dos de los cinco casos estudiados.

Esta investigación se llevó a cabo con el fin de identificar los parámetros de calidad del suelo en dos sistemas de producción ganadera utilizando herramientas SIG para su análisis

7.1 Metodología

7.1.1 Selección de fincas y georreferenciación de lotes

Con el fin de determinar la calidad de la fertilidad y compactación (densidad aparente, densidad real y porosidad total) del suelo se tomaron muestras de suelos en las dos fincas seleccionadas de acuerdo al área del lote estudiado (Tabla 1). Cada muestra para análisis químico estuvo compuesta aproximadamente por un (1) Kilogramo de suelo, tomada a 15cm de profundidad, el cual fue empacado en bolsas plásticas de 20x30cm, con cierre hermético y rotuladas debidamente con la

información de cada sitio; para la determinación de la densidad aparente se utilizó el método del cilindro

Tabla 1. Ubicación y características de las fincas muestreadas

Finca	Municipio	Altura	Temperatura	Ubicación (WGS84)	Lote Muestreado	Área del Lote (Hectárea)	Número de muestras
El Pañuelo	Manizales	1220	21°C	N5 02.313 34.864 W75	Sistemas silvopastoril con botón de oro	1,328	13
					Sistema Convencional	0,765	8
Sierra Morena	Manizales	1250	23°C	N5 04.451 37.785 W75	Sistemas silvopastoril con botón de oro	1,595	16
					Sistema Convencional	1,005	10

Fuente: (Gálvez J, 2016)

Cada sitio de muestreo fue georreferenciado y los lotes delimitados para obtener sus respectivas áreas con la ayuda de un equipo de sistema de posicionamiento global (GPS, Garmin Oregon 650), el sistema de coordenadas de captura del equipo GPS usado fue el WGS1984. Esta información se visualizó en la aplicación Google Earth.

Figura 10. Ubicación de lotes muestreados en Finca El Pañuelo



Fuente: (Gálvez J, 2016)

Figura 11. Ubicación de los lotes muestreados Finca Sierra Morena



Fuente: (Gálvez J, 2016)

7.1.2 Determinación de propiedades químicas

Las muestras colectadas fueron llevadas al laboratorio de química y fertilidad de suelos de la Universidad de Caldas, allí se determinó pH, contenido de materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio; los métodos de análisis se describen en la tabla 2.

Tabla2. Métodos utilizados en laboratorio

Elemento	Método de Análisis
pH	Potenciometría
M.O	Oxidación húmeda y cuantificación por Colorimetría
P	Extracción Bray II y cuantificación por Colorimetría
Ca	Extracción Acetato de Amonio 1N pH 7 Absorción atómica
Mg	
K	
Na	
Al	Titulación
Textura	Bouyoucos

Fuente: (Gálvez J, 2016)

7.1.3 Manejo de la información

La información obtenida de los análisis de suelos se digitalizó en hojas electrónicas con el fin de conformar una base de datos con la siguiente información: materia

orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, arena, limo, arcilla, pH, densidad aparente, densidad real y porosidad total

Una vez la información de georreferenciación y delimitación de lotes fue obtenida para su procesamiento, fue reprojectada al sistema de coordenadas MAGNA_Colombia_Bogota, y convertida a shape mediante el programa ArcGis, utilizando la extensión GPS to Features de conversión Tools, posteriormente la información de la delimitación de las áreas de los lotes dada en puntos fue convertida a polígono y se obtuvieron las correspondientes áreas.

Se construyó una base de datos espacial asociando los diferentes puntos de muestreo georreferenciados y los resultados de los análisis del laboratorio obtenidos en cada uno de estos puntos.

7.1.4 Análisis de la información

Para cada una de las variables determinadas se hizo un análisis univariado identificando los valores mínimo y máximo, y estimando la media, la mediana, la desviación estándar y los coeficientes de variación

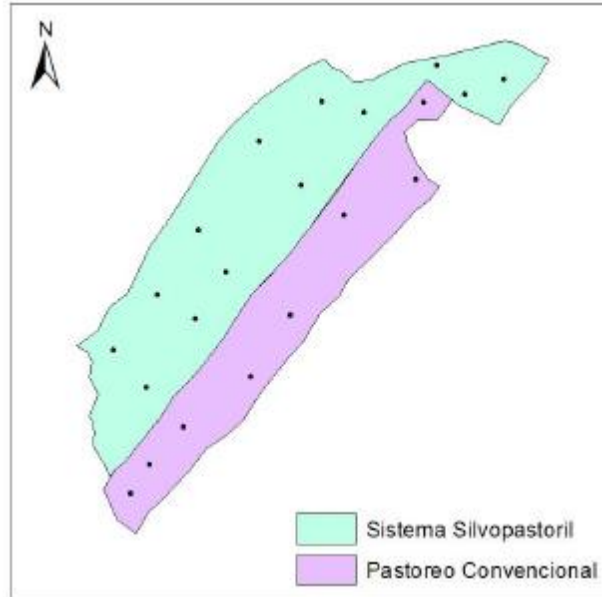
7.1.5 Creación de mapas de fertilidad y propiedades físicas.

Mediante la extensión Spatial Analyst Tools, se efectuó la interpolación de los datos obtenidos del laboratorio de suelos, mediante el método de ponderación del inverso de la distancia (IDW) para obtener mapas de fertilidad y propiedades físicas de los diferentes lotes estudiados, y realizar los respectivos análisis teniendo cuenta los resultados estadísticos de los datos.

8. Resultados y Discusión

8.1 Finca el Pañuelo

Figura 12. Lotes muestreados Finca el Pañuelo



Fuente (Gálvez J, 2016)

Según los coeficientes de variación de los resultados obtenidos para esta finca, la materia orgánica y el nitrógeno tuvieron menor variabilidad en el sistema Silvopastoril, presentando valores muy homogéneos; a diferencia del sistema de pastoreo convencional donde la variabilidad fue superior exhibiendo valores heterogéneos.

Las demás variables bajo estudio tienen datos muy heterogéneos, donde la mayor variabilidad es encontrada para el fósforo y el aluminio en el lote de pastoreo convencional (tabla 3). La variabilidad más alta del fósforo se atribuye a la baja movilidad que tiene este en el suelo y a la reacción con el pH bajo del suelo que promueve la precipitación de los fosfatos (Alcántar y Trejo, 2007. et al Gálvez J, 2016).

Tabla 3. Estadística descriptiva para las variables estudiadas en la finca El Pañuelo.

Sistema Ganadero	Estadístico	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	pH	Da
Sistema Silvopastoril	Media	13.37	0.51	17	0.46	7.3	3.45	0.35	0.3	5.11	1.33
	Mediana	13.5	0.51	13	0.28	7.6	3.46	0.33	0	5.1	1.31
	Varianza	1.343	0	148	0.21	9.5	4.89	0	0.2	0.3	0.02
	DesvEst	1.159	0.03	12	0.46	3.1	2.21	0.07	0.5	0.55	0.14
	C.V	8.67	6.69	72	99.8	42	64.2	19.5	160	10.8	10.8
Sistema Ganadero	Estadístico	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	pH	Da
Pastoreo Convencional	Media	12.32	0.47	2.9	0.44	5.3	2.36	0.32	0.1	5.43	1.17
	Mediana	12.59	0.49	0	0.3	5.2	2.7	0.31	0	5.55	1.13
	Varianza	7.875	0.01	31	0.16	9.7	2.4	0	0.1	0.25	0.04
	DesvEst	2.993	0.09	6	0.42	3.1	1.53	0.05	0.2	0.53	0.2
	C.V	24.3	19.2	207	94.3	59	64.8	16.9	283	9.79	17.2

Fuente: (Gálvez J, 2016)

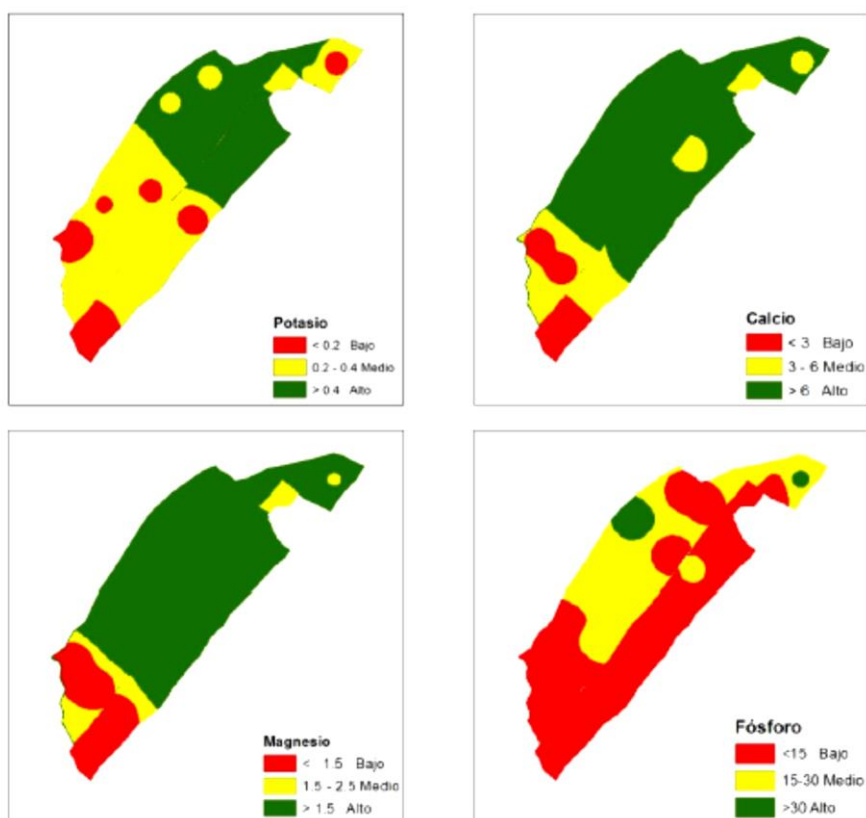
El potasio, calcio y magnesio tanto en el sistema Silvopastoril como en el convencional presentaron en su mayoría valores entre medio y alto, las zonas de la finca con contenidos bajos de estos nutrientes, corresponden a la parte de los lotes con pendiente, esta zona precisamente tiene pH bajos y presencia de aluminio, debido al lavado de las bases por causa del movimiento del agua en el suelo, este proceso, que ocurre lenta pero sostenidamente en el tiempo, determina un reemplazo de estas bases por los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) (Campillo y Sadzawka, 2006 *et al.*, Gálvez J, 2016).

Se presentaron contenidos más altos de fósforo en el sistema Silvopastoril y bajo en el sistema de pastoreo convencional (figura 13). El contenido de fósforo en el sistemas silvopastoril puede deberse a la hojarasca producida por el botón de oro; según Velasco *et al.*, (1999) al evaluar contenidos de fósforo en sistema silvopastoril con *Acacia*

mangium encontraron que La concentración de P en la hojarasca de *A. mangium* fue de 0.08%, aportando 7 y 4.5 kg ha⁻¹ año⁻¹ a alta y a baja densidad de siembra, respectivamente. La presencia de suelos ácidos y contenidos de aluminio como se mencionó anteriormente puede disminuir la disponibilidad del fósforo así se encuentre en contenido alto.

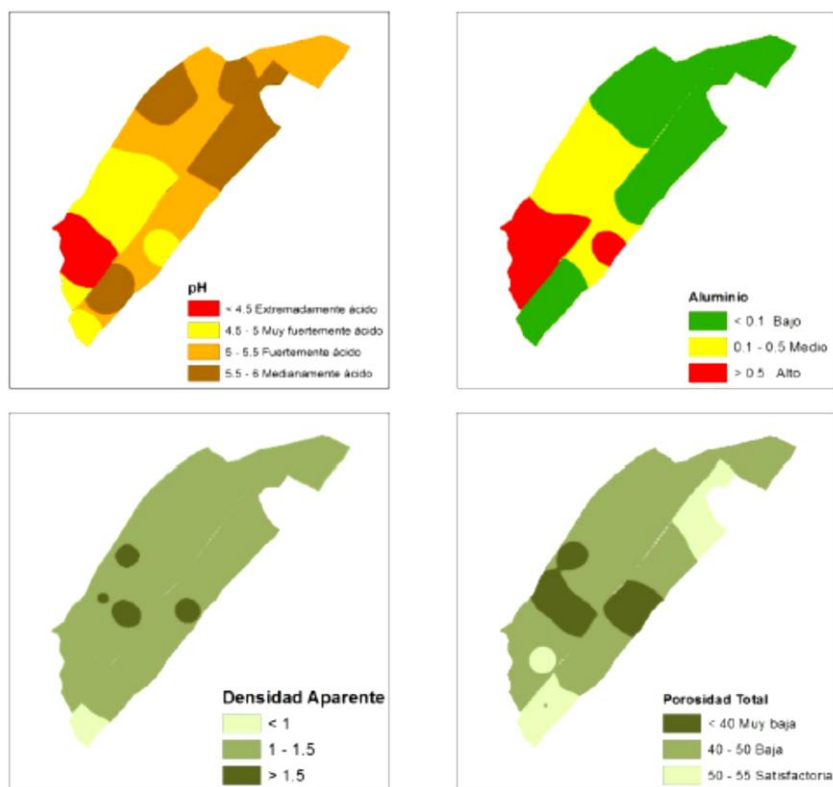
La densidad aparente se encuentra en el rango 1 – 1.5 g/cm³, que en muchos de los puntos tienden más al valor de 1.5 g/cm³ lo que nos indica suelos pesados; esto sumado a la porosidad presente categorizada entre baja y muy baja, nos revela suelos con problemas de compactación (Figura 14), resultado visible en los dos sistemas ganaderos.

Figura 13. Mapas de potasio, Calcio, Magnesio y Fosforo



Fuente (Gálvez J, 2016)

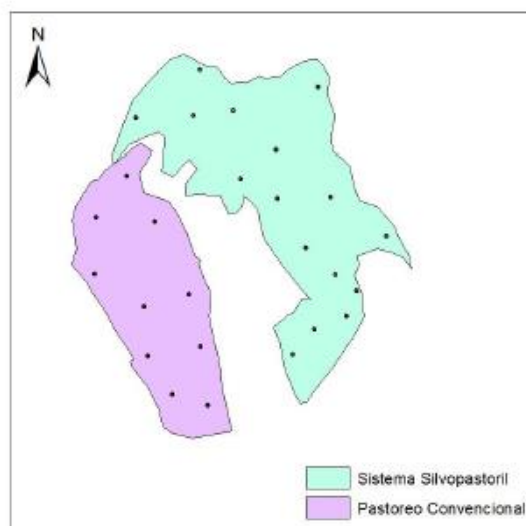
Figura 14. Mapa de pH, Aluminio, Densidad aparente y porosidad Total



Fuente: (Gálvez J, 2016)

8.2 Finca Sierra Morena

Figura 15. Lotes muestreados de la Finca Sierra Morena



Fuente: (Gálvez J, 2016)

La finca Sierra Morena presenta valores altos de materia orgánica, nitrógeno y calcio, valores medios a bajos en su gran mayoría de potasio y magnesio; y bajos de fósforo (figura 16), El pH y la densidad aparente están en rangos adecuados, para cada uno de los sistemas ganaderos bajo estudio. La porosidad total se encuentra entre satisfactoria y baja, lo que nos indica que se empiezan a tener problemas de compactación (Figura 17).

Este contenido menor en el sistema silvopastoril puede deberse a la acción de los microorganismos del suelo sobre los residuos orgánicos del cultivo silvopastoril y a la alta temperatura en la zona; La temperatura influye en la mineralización del nitrógeno y el carbono a partir de los residuos orgánicos siendo afectada por la temperatura, a más temperaturas más mineralización y a menos temperatura menos mineralización (Munévar y Wollum, 1983 *et al* Gálvez J, 2016).

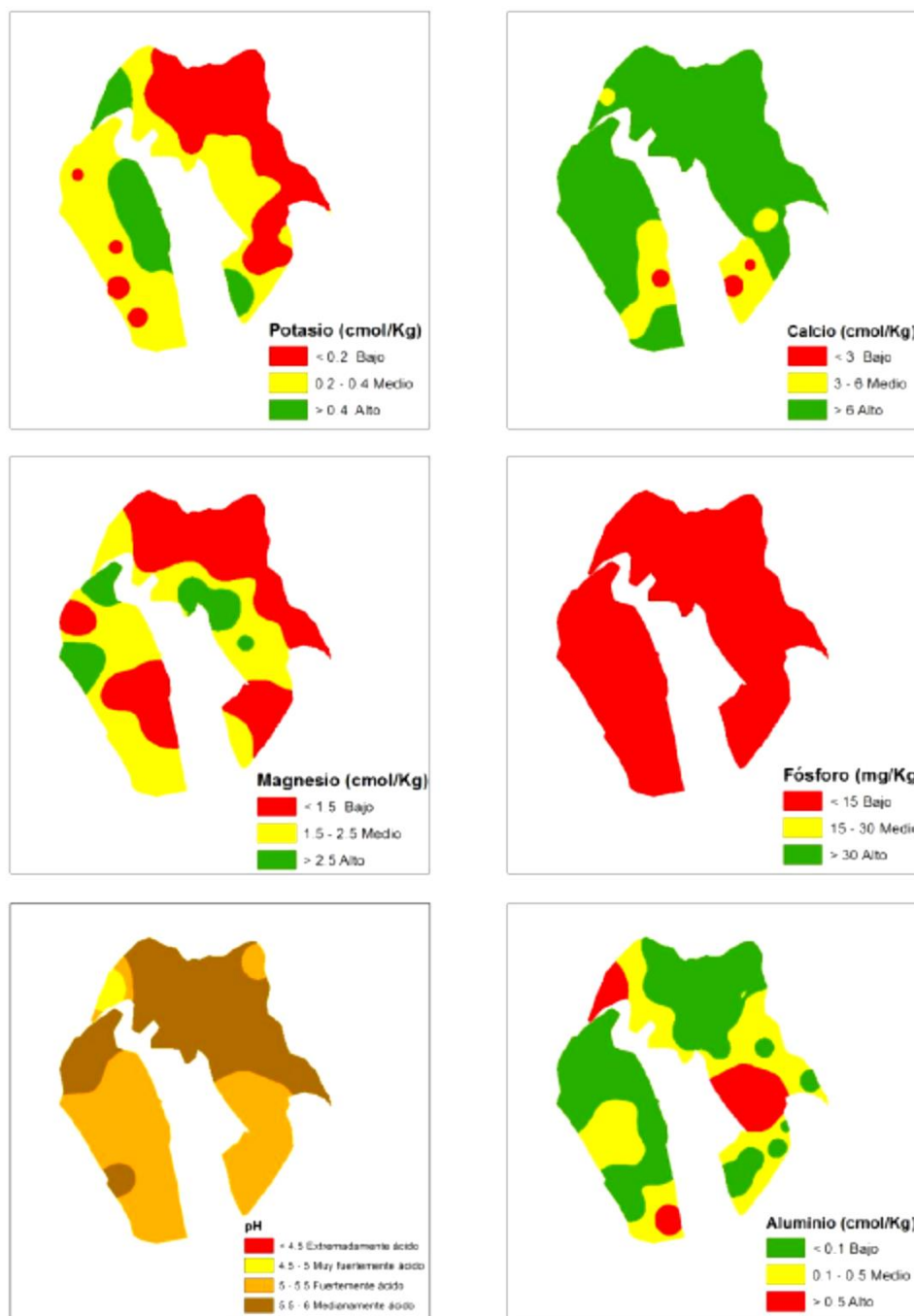
Los valores bajos del potasio y el magnesio están indicados por la relación Ca/Mg y Mg/K en desbalance, lo que está causando la deficiencia en el suelo de estos cationes.

Tabla 4. Estadística para las variables estudiadas en la finca Sierra Morena.

Sistema Ganadero	Estadístico	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	pH	Da
Sistema Silvopastoril	Media	10.96	0.43	3.2	0.24	9.8	1.48	0.21	0.3	5.54	1.1
	Mediana	10.84	0.44	2.5	0.19	8.7	1.11	0.18	0	5.55	1.1
	Varianza	1.585	0	5.9	0.04	30	1.15	0.01	0.4	0.24	0.01
	DesvEst	1.259	0.04	2.4	0.19	5.5	1.07	0.1	0.6	0.49	0.12
	C.V	11.49	9.17	76	79.1	56	72.6	45	225	8.91	11.1
Sistema Ganadero	Estadístico	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	pH	Da
Pastoreo Convencional	Media	13.01	0.5	8.1	0.36	8.7	1.99	0.15	0.1	5.43	1.18
	Mediana	13.19	0.5	8.5	0.23	7.9	1.83	0.14	0	5.35	1.18
	Varianza	1.372	0	7.9	0.1	29	2.63	0	0.1	0.09	0.03
	DesvEst	1.171	0.04	2.8	0.32	5.4	1.62	0.04	0.3	0.31	0.16
	C.V	9.004	7.07	35	88.9	61	81.6	26	214	5.63	13.7

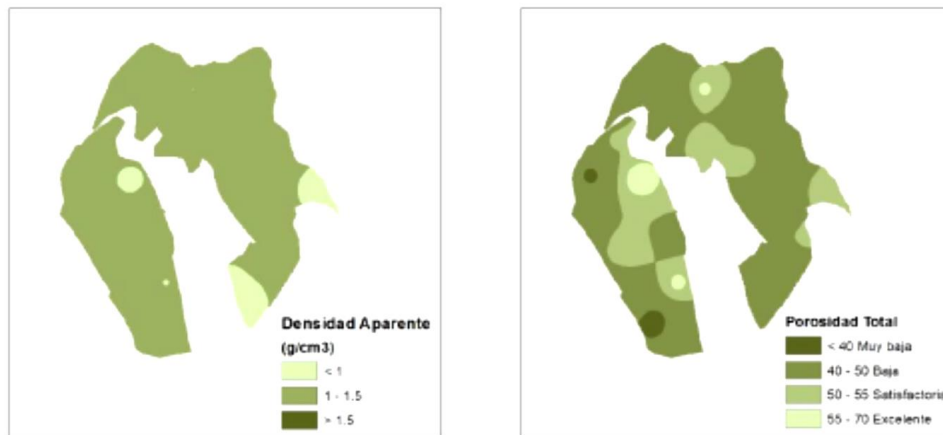
Fuente: (Gálvez J, 2016)

Figura 16. Mapas de potasio, calcio, magnesio, fósforo, pH y aluminio



Fuente: (Gálvez J, 2016)

Figura 17. Mapa de densidad aparente y porosidad total del suelo.



Fuente: (Gálvez J, 2016)

9. CONCLUSIONES

- Todas las fincas analizadas presentaron contenidos altos de materia orgánica, sin diferencias entre los lotes silvopastoril y pastoreo convencional.
- Los suelos en las áreas de estudio presentaron variabilidades altas de fósforo, dicha variabilidad se atribuye a la baja movilidad que tiene este en el suelo y a la reacción con el pH bajo que promueve la precipitación de los fosfatos de hierro y aluminio de baja solubilidad.
- Las bases del suelo (Ca, Mg y K), aparecen en desbalance en las fincas estudiadas, generando relaciones iónicas poco favorables, el pH ácido que se encuentra en las fincas, la pendiente que predomina en nuestra zona, el movimiento del agua en el suelo, generan el lavado de las bases, y el reemplazo de estas por cationes ácidos como hierro y aluminio. La absorción de calcio y los aportes de potasio, a través de la orina de los animales, han modificado

parcialmente el estado original de los suelos, creando desbalances entre los nutrientes.

- Los mapas obtenidos por la interpolación de los resultados de análisis de suelos son una herramienta muy importante ya que hacen completamente visibles las zonas con excesos y deficiencias para hacer más eficiente los métodos preventivos y correctivos

10. Descripción del Uso de las Herramientas SIG para el Análisis Espacial en el Municipio de Agustín Codazzi Basados en La Información Obtenida en el Estudio del Departamento de Caldas

El departamento del Cesar, se caracteriza por tener una base económica agropecuaria, que ha crecido tecnológicamente en los últimos años, gracias a los diversos programas que el Gobierno Nacional y los entes públicos locales desarrollan en esta Región del país. Sin embargo, el poco personal capacitado, las bajas estrategias de divulgación de tecnologías limpias y la limitación de recursos económicos, físicos y humanos han contribuido significativamente a que los procesos productivos se manejen en la mayor parte posible de manera convencional, impidiendo la optimización de los mismos de forma sostenible, económica, segura y productiva.

A pesar de no existir un registro o una base de datos que determine las hectáreas implementadas por sistemas agroforestales en el departamento del Cesar, es de conocimiento general que en los últimos cinco años se han establecido diversos

sistemas agroforestales, sobre todo agrosilvícolas, especialmente en el cultivo de cacao y café, como en el caso de los municipios de San Alberto y Aguachica en el Sur del Departamento del Cesar en el cual 44 hectáreas se establecieron de sistemas agroforestales innovadores asociados a cacao para la recuperación y conservación de los recursos naturales y el mejoramiento de las condiciones de vida de las familias con énfasis en agricultura familiar sostenible y competitiva (Ecocacao.com , 2017).

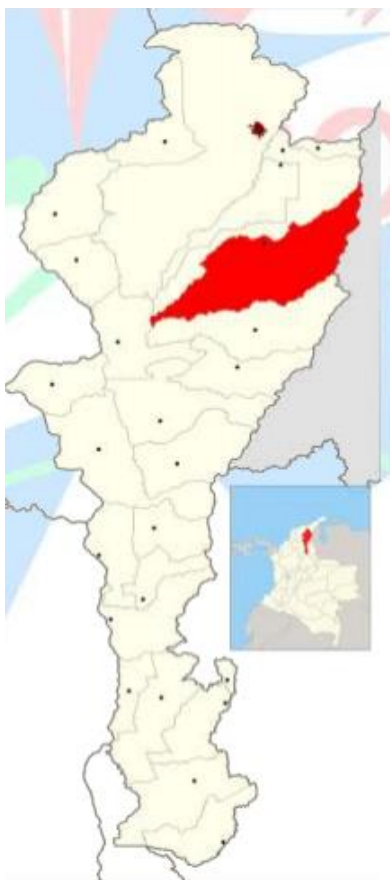
La georreferenciación de estas tierras permitiría identificar las zonas adecuadas para la implementación de los SAF y su distribución espacial, así mismo determinar el área total de los terrenos que son aptos para producción agrícola, de manera que al asociar estos resultados con los análisis de laboratorio de suelos, permita identificar las especies arbóreas más indicadas para el establecimiento de los SAF, ya que por interpolación se puede determinar las áreas que registran baja presencia de MO y minerales en el suelo. Así mismo, se obtiene un análisis de las condiciones de calidad de los suelos actuales que permita ejercer mecanismos de recuperación o de conservación de los mismos acorde a las necesidades del sistema productivo.

Municipios como Agustín Codazzi, Valledupar, Jagua de Ibérico, Becerril, El Paso y Chiriguana que se caracterizan por presentar suelos deteriorados debido a actividades antrópicas como la explotación minera a cielo abierto, implementación de monocultivos, ganadería extensiva y uso indiscriminado de agroquímicos como en la época del algodón y que cuentan con una fuerte actividad agrícola y pecuaria, se convierten en zonas ideales para la utilización de herramientas de información geográfica, como la georreferenciación, el modelamiento espacial, interpolación, entre

otras en el establecimiento de acciones de mejora o programas de conservación y recuperación.

El municipio de Agustín Codazzi se encuentra en la parte Noreste del departamento del Cesar, está determinada por las siguientes coordenadas: su cabecera está localizada a los 10° 02' 09" de latitud Norte y 73° 14' 20" de longitud Oeste, su temperatura media es de 28 °C. (Plan de Desarrollo, 2016)

Figura 18. *Localización municipio de Agustín Codazzi, Cesar*

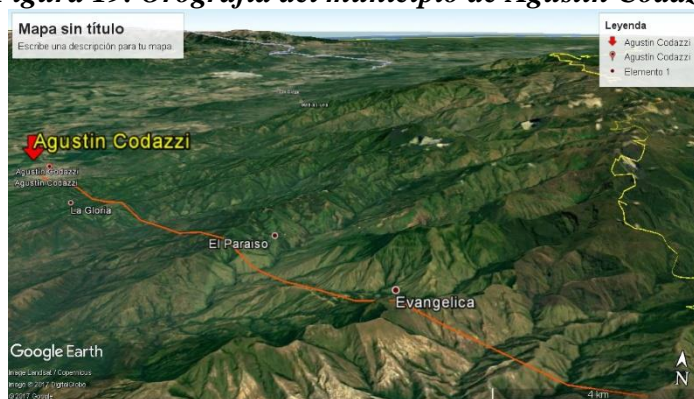


Fuente (IGAC, 2012)

En el área del municipio se localizan alturas sobre el nivel del mar que varían entre los 125 y 3.600 msnm, esta última se encuentra en la Serranía del Perijá, el cual es una formación montañosa constituida principalmente por depósitos sedimentarios del mesozoico, lo que en relación y comparación al municipio de Manizales que se encuentra a una altura de 2200 msnm y que se caracteriza por su ubicación geográfica y variedad climática y paisajística, se convierte en una zona ideal para la aplicación de SIG y sus herramientas.

Como se pudo observar en la Figura 18, la cual fue obtenida desde una herramienta SIG, como lo es el sistema de *Google Earth Pro*, que además de tener licencia gratuita nos permite obtener información relevante de la zona de estudio y realizar georreferenciaciones así como determinar las medidas de un área específica o de una ruta establecida. En esta figura se diferencia las diferentes alturas sobre el nivel del mar que presenta esta Región del departamento, en donde la zona urbana se caracteriza por ser de una orografía plana hasta un sistema montañoso con pendientes entre los 50 y 70%.

Figura 19. Orografía del municipio de Agustín Codazzi



Fuente: El autor

Con esta misma herramienta *Google Earth Pro* podemos hacer el trazado de una ruta y determinar el perfil de elevación de un área de estudio específica, en este caso tomaremos la misma zona del municipio de Codazzi, con el fin de confirmar que las alturas sobre el nivel del mar de la región oscilan entre los 125 y 3600 metros. (Ver Figura 20)

Figura 20. Perfil de Elevación Agustín Codazzi



Fuente: El autor

El círculo amarillo de la anterior figura indica que desde la zona plana del municipio hasta la marcación de un punto montañoso, se encuentra un asnm de 128 a 2085 metros, que la distancia entre un punto y otro se encuentra en un rango de 33,1 km y una pendiente máxima de 63,7%.

Este tipo de herramientas como se puede evidenciar, permite como profesionales identificar las características geográficas, factores agroambientales, presencia de bosques primarios y/o secundarios, zonas de intervención antrópica, clasificación de usos de suelo, entre otros aspectos que son propios de la labor del ingeniero agroforestal y agrícola.

Obtenido y confirmado la elevación de la zona de estudio se puede proceder a identificar las posibles características del suelo y los procesos de degradación y/o recuperación que a través del tiempo se han registrado en el mismo.

En la Figura 21 la zona veredal de la Gloria, para el año 2005 registra presencia de bosques primarios, cultivos agrícolas, conservación de ecosistemas, las zonas montañosas tienen una significativa cubrición boscosa, mientras que para el año 2010 en la figura 22, se evidencia deterioro de la capa boscosa, actividad antrópica inadecuada en los sistemas, exposición del suelo y por ende zonas de deterioro, disminución de la presencia de bosques primarios y/o secundarios. Teniendo en cuenta que a partir del 2011 se empieza aplicar las prácticas de extensionismo rural y que estas conllevan la implementación de tecnologías limpias y la recuperación y conservación de suelos, para el año 2012, se puede visualizar en la Figura 23, que la zona aun registra áreas de deterioro de suelo, alta exposición, sin embargo también se observa implementación de cultivos agrícolas, nuevas vías de acceso, asentamientos y recuperación de zonas boscosas. Prácticas que siguen en aplicación en el municipio de Codazzi y que se sustenta teniendo en cuenta que el 25% de los suelos son destinados

para producción forestal y agroforestal, conllevando a que los suelos de protección se ubican principalmente a la Serranía de Perijá. (Plan de Desarrollo, 2016)

Figura 21. Zona de estudio 2005



Figura 22. Zona de estudio en el 2010



Figura 23. Zona de estudio en 2012



Fuente: El autor

Con base a lo anterior no solo la herramienta de *Google Earth Pro*, es significativa a la hora de hacer un análisis espacial, también los profesionales pueden apoyarse en herramientas o software como QGis que es un SIG que permite crear, editar visualizar, analizar y publicar información geoespacial. De manera que para relacionar la información obtenida en el departamento de Caldas con la región del municipio de Codazzi se realizó una Interpolación del cobertura del suelo en la zona veredal Buenavista, como ejemplo del uso de herramientas SIG que pueden ser aplicados en cualquier región del país que permita analizar la influencia de estas actividades antrópicas en la conservación, preservación y recuperación de los suelos.

Se tomó la zona veredal de Buenavista y se establecieron diferentes puntos estacionales y según criterio profesional se identificó cada estación con un grado de cobertura, para la cual se definieron criterios desde 1 a 4 donde:

1 = son suelos totalmente descubiertos

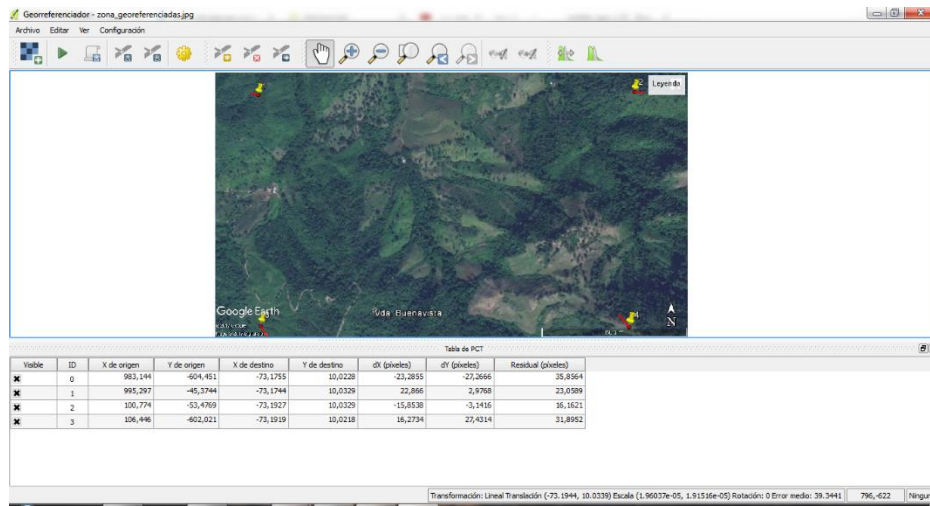
2 = suelos con una cobertura baja

3= suelos con cobertura media

4= suelos con cobertura alta

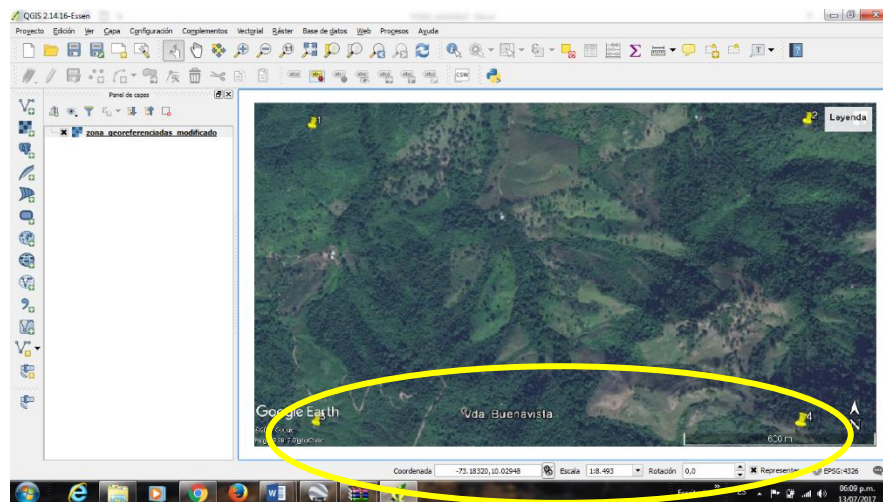
De esta forma se georreferenció la zona de estudio, para el cual, se requirió de una imagen capturada desde Google Earth Pro a una altura del ojo de 2,57 km y se establecieron las coordenadas geográficas x, y de origen. En google earth se utilizó grados decimales y en QGis se utilizó, como se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. Zona de estudio georreferenciada en Qgis



Para verificar que la imagen haya sido georreferenciado exitosamente, en la plantilla de QGIS del proyecto se puede evidenciar en la parte inferior las coordenadas, de manera que cada vez que el cursor sea movido estas van a cambiar teniendo en cuenta que cada punto de la tierra posee una coordenada diferente. Tal cual como puede observarse en la Figura 25.

Figura 25. Imagen georreferenciada



Fuente: El autor

La interpolación se realiza mediante una capa vectorial o archivo shape de puntos, que nos permite clasificar la cobertura de los suelos de la vereda Buenavista (Figura 26) para esta análisis espacial se utilizó el método de ponderación inversa IDW, el archivo de salida o la imagen ráster obtenida fue en una gradiente de blanca a negro, donde negro establece las zonas con mayor cobertura de suelo y blanco las que se encuentran totalmente descubiertas. (Figura 27)

Figura 26. Capa vectorial de puntos

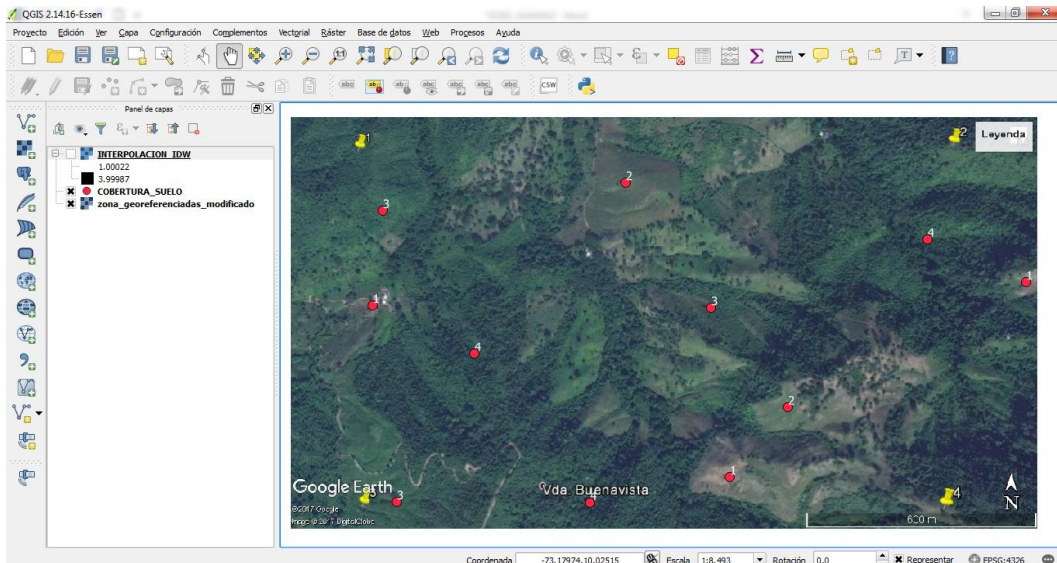
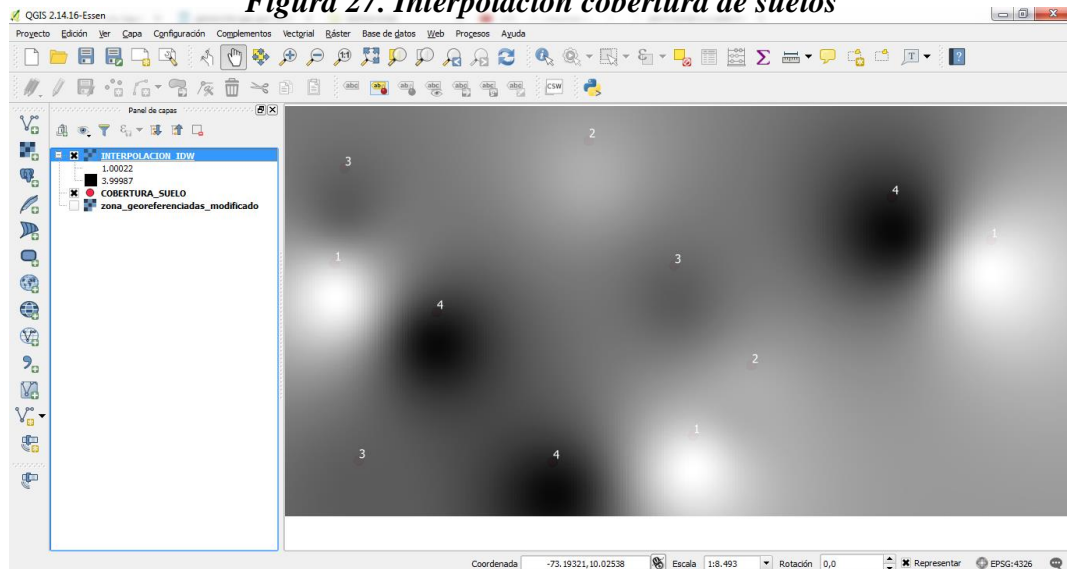


Figura 27. Interpolación cobertura de suelos



Como se puede observar en la imagen la mayor cobertura de suelos se encuentra relacionada en los sistemas montañosos con altas pendientes, mientras que las zonas con baja y totalmente descubiertas son las aledañas a las viviendas de los habitantes de la vereda Buenavista, y la cobertura media está relacionada con la implementación de cultivos agrícolas, esto indica que las actividades del hombre, como la tala de árboles, practicas inadecuadas agrícolas como la quema, uso inadecuado de agroquímicos, sobrepastoreo, monocultivos, entre otras tienen una influencia significativa en la degradación de suelos y con este ejemplo se evidencia que con las herramientas adecuadas puede realizarse un análisis espacial de un área específica en donde no solo el componente agrícola y forestal tienen importancia, sino que también pueden realizarse estudios sobre precipitaciones, emisiones de gases y material particulado, degradación de las cuencas, obtener un mapa de curvas de nivel y demás aspectos que el profesional considere evaluar.

11. Recomendaciones

Los sistemas de información geográfica se han convertido en una herramienta fundamental en el crecimiento de la ingeniería y demás ciencias, ya que las bases de datos que se generen permiten analizar el espacio y construir una representación de la realidad. Es importante que al realizar un trabajo de modelación o análisis espacial, momento se cuente con los recursos necesarios para el mismo y se garantice de manera eficiente la disponibilidad y calidad de los mismos:

- ✓ Un hardware que cumpla con las necesidades de las aplicaciones para almacenamiento y accesibilidad a la información.

- ✓ Programas SIG que otorguen herramientas que permitan el almacenamiento, procesamiento y análisis de la información, como las consultas y visualización de datos geográficos.
- ✓ Se requieren que los datos sean soportados y precisos, de manera que el SIG pueda realizar la labor de análisis sin inconvenientes y minimizar los márgenes de error.

Es importante que los objetivos del trabajo a realizar sean claros y que la información obtenida coincida con la representación del entorno real, de manera que se logren bases de datos sólidas y veraces. .

Referencias

ALCÁNTAR, G., & TREJO, L. (2007). Nutrición de cultivos. *Ediciones Mundi Prensa. Colegio de Postgraduados. México DF, México*. JOUR.

ARROYO L (1999). *La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica en el uso de la Tierra*. Conferencia 26. Departamento de Suelos. Ministerio de Agricultura y Ganadería. México

Recuperado de: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-I_237.pdf

BAUTISTA, C. A., ETCHEVERS, B. J., Del CASTILLO, R. F., GUTIÉRREZ, C., __, __, & __. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Ecosistemas, 13
Recuperado: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54013210>

BECERRA, L & SEGURA, M (2012). *Implementación de Sistemas de Información Geográfico en la agricultura de precisión orientada a la administración y manejo del cultivo de cacao en la finca Palma de Oro*. Universidad Industrial de Santander, Producción agroindustrial. Bucaramanga

Recuperado: repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/11658/2/145086.pdf

BELSKY, A. J., MWONGA, S. M., DUXBURY, J. M., __, __, __, & __. (1993). *Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas*. Agroforestry Systems
Recuperado: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00705265>

CÁCERES, L. (2001). *Vulnerabilidad Adaptación y Mitigación al Cambio Climático En El Ecuador*. Compendio de Medidas, Estrategias y Perfiles de Proyectos de los Sectores Energéticos, Forestales, Agrícolas, Marino Costero y Recursos Hídricos, Quito- Ecuador.

Recuperado:

<http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/6074f5565b4f7563d2877def53370c59.pdf>

CAMPILLO, R., & SADZAWKA, R. A. (2006). *Acidificación de los suelos y los procesos involucrados*. Programa de recuperación de suelos degradados. *Serie Actas*.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (1993). Radulovich, (ed). *Proyecto de Sistemas de Producción Agrosilvopastoriles para pequeños productores de Ladera con Sequía Estacional de Centro América*. Informe Final. CATIE –ACDI. Turrialba, Costa rica

CURREN, D (1997). *Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales: Resultados de una investigación en América central y el caribe*. Agroforesteria de las américas. CATIE

Recuperado: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6961>

DAVILA, F (sfp). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Servicio de documentación Geográfica y Biblioteca. IGN. España

DORAN, J. W., & PARKIN, T. B. (1994). *Defining and assessing soil quality*. JOUR, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
Recuperado: <https://dl.sciencesocieties.org/Publications/Books>

ESCOBAR, D (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Recuperado: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358031/Escobar_2011_SIG.pdf

ETCHEVERS, B. J. D., & PADILLA, C. J. (2007). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo*. In *Nutrición de Cultivos*. México.

FARFÁN V. (2010). *Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrero de especies forestales*. CENICAFÉ

Recuperado: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(01\)007-027.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(01)007-027.pdf)

GÁLVEZ, J (2016). Identificación de parámetros de calidad del suelo bajo dos sistemas de producción ganadera. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingenierías. Manizales

Recuperado:

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2872/Galvez_Gonzalez_Jhonny_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GIRALDO, L. A. (2000). *Sistemas Silvopastoriles para la ganadería en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

GUTIÉRREZ, B. (2003). *Primer Capítulo del Libro “Diagnóstico y Diseño Participativo en Sistemas Agroforestales*. Cundinamarca-Colombia

Recuperado:

<https://books.google.com.co/books?id=BvbGLfWw90IC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Primer+Cap%C3%ADtulo+del+Libro+%E2%80%9CDiagn%C3%B3stico+y+Dise%C3%B1o+Participativo+en+Sistemas+Agroforestales.&source=bl&ots=Lwqz9x8xDc&sig=dYsxmquPkdr8sx4Spuv0GxnWDW4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewiN4Nec4p3UAhXJRyYKHblRCjkQ6AEIKzAC#v=onepage&q=Primer%20Cap%C3%ADtulo%20del%20Libro%20%E2%80%9CDiagn%C3%B3stico%20y%20Dise%C3%B1o%20Participativo%20en%20Sistemas%20Agroforestales.&f=false>

INEG (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

JIMÉNEZ F, MUSCHLER R, KOPSELL E. (2001). *Funciones y aplicaciones de Sistemas Agroforestales*. CATIE, Costa Rica.

Recuperado

de:

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/2202/Funciones_y_aplicaciones_de_sistemas_agroforestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KRISHNAMURTHY L., URIBE M. (2002). *Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible*. México.

Recuperado: <http://es.calameo.com/read/001058577b7c0eca08600>

MAHECHA, L. (2002). *El silvopastoril: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias,

Recuperado: <http://www.redgatro.org.mx/assets/rn5.pdf>

LIBREROS, H. (2015). *Sistemas silvopastoriles: Opción para la mitigación y Adecuación al cambio climático en bosque seco tropical*. Revista Semillas, Recuperado: <http://www.semillas.org.co/sitio.shtml?apc=p1-2-&x=20154766>

MANTAGNINI, F. (1992). *Sistemas Agroforestales: Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Subsecretaria de Desarrollo rural Dirección General de Apoyo para el Desarrollo Rural, Sistemas agroforestales, Puebla-México.

Recuperado: <http://education.tropicalstudies.org/images/downloads/ots-library-system/sistemasagroforestales.pdf>

MARIACA, ROSNELY, (1999). *Criterios básicos para el diseño de Sistemas Agroforestales*. CIAT. México.

MENDIETA L. MARCIA, ROCHA M. RAÚL (2007). *Sistemas Agroforestales*. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.

Recuperado:
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf

MERINO, R (2012). *Tesis de grado Titulado, Forestación con Especies Nativas del CEYPSA*. Latacunga-Ecuador.

MUERZA, A (2010). *Mega diversidad: la mayor Riqueza Ecológica del Mundo*. Eroski consumer.

Recuperado:
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2010/08/26/195265.php

NAIR, P.K.R. (1993). *Una introducción a la silvicultura*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands

NORTCLIFF, S. (2002). *Standardisation of soil quality attributes*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 88

OLMOS, P (2010). *Sistemas de Información Geográfico: Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España

Recuperado: http://www.gbif.es/gbif/ficheros/TallerSIG-Geolocate_10/cuadernillo2010.pdf

PALOMEQUE, F. (2009). *Sistemas Agroforestales*. Huehuetán, ChiapasMéxico
Recuperado:<https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemas-agroforestales.pdf?iv=154>

PEZO, D., & IBRAHIM, M. (1997). *Sistemas silvopastoriles. Una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos*. FIRA Boletín Informativo, 29.

ROMERO, D. A., MARÍN, S. P., ORTIZ, S. R., __, __, __, & __. (2012). *Loss of soil fertility estimated from sediment trapped in check dams*. South-eastern Spain. *Catena*, Recuperado: <http://doi.org/10.1016/j.catena.2012.07.006>

SADEGHIAN, S., RIVERA, J., GÓMEZ, M. E., __, __, __, & __. (1994). *Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia*. Agroforesteria Para La Producción Animal En Latinoamerica. Recuperado: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>

SAGARPA (sfp). *Sistemas Agroforestales*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>

SARRIA F, (2012). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado. <http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

VELASCO, A., IBRAHIM, M., KASS, D., JIMENEZ, F., PLATERO, G. R., __, & __. (1999). *Concentraciones de fósforo en suelos bajo sistema silvopastil de Acacia mangium con Brachiaria mangium con Brachiaria humidicola*. Agroforesteria En las Américas Recuperado: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6326S/x6326S00.htm>

YANA, WALTER. (2005). *Unidad temática 3, Sistemas Agroforestales*. Indicador de Aprendizaje, La Paz-Bolivia.